



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Pro gradu -tutkielma
Geologia
Hydrogeologia ja ympäristögeologia

Geologisten taustatekijöiden vaikutus latvapurojen piilevälajistoon

Ida Hiltunen

2018

Ohjaajat:
Kirsti Korkka-Niemi
Janne Soininen
Virpi Pajunen

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN OSASTO
GEOLOGIA

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Geotieteiden ja maantieteen osasto	
Tekijä/Författare – Author Ida Hiltunen			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Geologisten taustatekijöiden vaikutus latvapurojen piilevälajistoon			
Oppiaine /Läroämne – Subject Geologia			
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year Joulukuu 2018	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 67 + liitteet	
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Työn tarkoituksena oli tutkia geologisten taustatekijöiden, kuten pohjavesi-pintavesi vuorovaikutuksen sekä maaperän vaikutuksia piilevien yhteisökoostumukseen. Pohjaveden purkautumisvyöhykkeissä silikaattipitoisuudet ovat usein korkeat. Koska piilevät käyttävät silikaattia kuorensa rakennusaineena, on oletettavaa, että puroon purkautuva pohjavesi vaikuttaa piilevälajistoon.</p> <p>Tutkimuksen aineisto kerättiin heinä-elokuussa 2017 ja tutkimuskohteina oli 51 latvapuroa Etelä-, Itä- ja Kaakkois-Suomessa. Aineistona käytettiin piilevien lajistokoostumusta, purojen hydrogeokemiallista koostumusta, lämpötilahavaintoja sekä pohjasedimentin luonnetta. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin olemassa olevaa paikkatietoaineistoa sekä maaperästä että pohjavesialueista.</p> <p>Näytteistä määritettiin veden kemiallinen koostumus sekä sedimentin raekokojakauma. Pohja-pintavesi vuorovaikutusten selvityksissä käytettiin hyväksi fysikaalisia ja kemiallisia menetelmiä, kuten veden hapen ja vedyn stabiilien isotooppien koostumusta, silikaattipitoisuuksia sekä lämpötilamittauksia. Tutkimuksessa pyrittiin paikantamaan ne purot, joissa pohjavesi-pintavesi vuorovaikutusta tapahtuu. Piilevien yhteisökoostumukseen vaikuttavia tekijöitä analysoitiin redundanssianalyysin, pääkomponenttianalyysin, hajonnan osituksen sekä similariteettianalyysin avulla.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella voitiin nimetä yhteensä 19 pohjavesivaikutteista puroa. Pohjavesivaikutteisten purojen geokemiallinen koostumus erosi selvästi ei-pohjavesivaikutteisista puroista. Redundanssianalyysin mukaan tärkeimpiä piilevien yhteisökoostumukseen vaikuttavia tekijöitä olivat sähkönjohtokyky, pH, savi- ja silttipitoinen maaperä, fosfori ja veden väri. Lajiston koostumukseen vaikuttivat hajonnan osituksen mukaan eniten kaikki vedenlaatuomuttajat, kun puolestaan pelkkien pohjavesimuuttujien vaikutus oli pienempi. Similariteettianalyysin mukaan pohjavesivaikutteisten purojen yhteisökoostumukset erosivat merkitsevästi ei-pohjavesivaikutteisista puroista. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että pohjavesivuorovaikutusta ilmentävillä muuttujilla ei ole suurta vaikutusta piilevayhteisöjen koostumukseen. Siitä huolimatta pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten purojen lajistoissa oli havaittavissa eroja.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords pohjavesi-pintavesi vuorovaikutus, stabiilit isotoopit, purkautuva pohjavesi, purovesi, piilevä			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Science		Laitos/Institution– Department Department of Geosciences and Geography	
Tekijä/Författare – Author Ida Hiltunen			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Effects of geological backgrounds on diatom communities			
Oppiaine /Läroämne – Subject Geology			
Työn laji/Arbetets art – Level MSc. thesis	Aika/Datum – Month and year December 2018	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 67 + Appendices	
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>The aim of this master thesis was to find out how geological variables like groundwater/surface-water interactions and soil affected the community composition of diatoms. In the groundwater discharge locations the silica concentrations are usually increased. Because the cell walls of diatoms consist of silica, is presumable that discharging groundwater affects to composition of the species communities.</p> <p>The water and sediment samples were collected from 51 streams from Southern, Eastern and Southeastern Finland in July-August in 2017. The collected material comprised hydrogeochemical data, diatom data, thermal data and soil data. GIS data were received from VALUE and GTK.</p> <p>The chemical compositions of the water samples and grain size of sediment samples were defined in the laboratories of University of Helsinki. The GW-SW interactions were research by physical and chemical methods. Stable isotopes H2 and O18, silica, electrical conductivity and temperature of water were used to indicate GW-SW interactions and the purpose was to identify the GW-SW interactions sites of the streams. The species community composition was analyzed with redundancy analysis (RDA), principal components analysis (PCA) variation partitioning and analysis of similarities (ANOSIM).</p> <p>The results suggest that 19 streams were affected by groundwater discharge. The observed differences in hydrogeochemistry between GW-SW were relatively high. According to the RDAs, the variation in community composition was best explained by conductivity, pH, fine-grained soil, phosphorus and color of water. The results of variation partitioning showed that the species composition was mostly affected by water quality whereas impact of variables which indicate groundwater discharging was smaller. Based on analysis of similarities there were significant differences in community compositions between GW-SW interactions. These results suggest that diatom community composition was not strongly affected by groundwater discharging though there were noticeable differences between species compositions.</p>			
<p>Avainsanat – Nyckelord – Keywords groundwater/surface-water relations, stable isotopes, discharged groundwater, stream water, diatoms</p>			
<p>Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helda</p>			
<p>Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information</p>			

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
2. PURKAUTUVAN POHJAVEDEN VAIKUTUS PUROVESIIN.....	7
2.1 Pohjavedet.....	7
2.2 Purovedet	8
2.3 Purosedimentit	9
2.4 Pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus	11
2.4.1 Isotooppikoostumus	12
2.4.2 Liuennut silikaatti.....	15
2.4.3 Lämpötila- sekä pääionimääritys.....	16
3. PIILEVÄT	16
3.1 Rakenne.....	18
3.2 Biologia.....	19
3.3 Ekologia	20
3.4 Esiintyminen ja levinneisyys	24
3.5 Piilevät vedenlaadun indikaattoreina	25
4. TUTKIMUSAINESTO JA –MENETELMÄT	26
4.1 Tutkimusalue.....	26
4.2 Näytteenotto	27
4.3 Piilevänäytteiden valmistus.....	28
4.4 Piilevien laskenta	29
4.5 Kemiaalliset analyysit.....	30
4.6 Raekokojakauma.....	30
4.7 Valuma-alueen määrittely	30
4.8 Tilastolliset menetelmät	31
4.8.1 Pääkomponenttianalyysi.....	32
4.8.2 Redundanssianalyysi	32
4.8.3 Hajonnan ositus	33
4.8.4 Similariteettianalyysi.....	33
5.TULOKSET.....	34
5.1 Selittävät muuttujat	34

5.2 Vastemuuttujat	38
6. TULOSTEN TARKASTELU	40
6.1 Tutkimuspurojen pohjavesi-pintavesi vuorovaikutus	40
6.2 Piilevälajistoon vaikuttavat muuttujat.....	49
6.2.1 Redundanssianalyysi	49
6.2.2 Pääkomponenttianalyysi.....	52
6.2.3 Hajonnan ositus	54
6.2.4 Pohjavesivaikutus piilevälajeihin	56
6.3. Maaperän lajittuneisuusvertailu	57
6.4 Tulosten luotettavuustarkastelu.....	59
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	61
8. KIITOKSET	62
VIITELUETTELO.....	63
LIITEET	68

1. JOHDANTO

Vesivarojen tutkimuksessa ja hallinnassa on tavanomaisesti keskitytty joko pinta- tai pohjavesiin, vaikka pinta- ja pohjavedet ovat kuitenkin useimmiten vuorovaikutuksessa keskenään (Winter et al. 1998). Pohjavesien vuorovaikutuksen tutkiminen on ollut kasvussa 1960-luvulta lähtien (Winter 1995) ja Suomessa pohjavesi-pintavesi vuorovaikutuksia on alettu tutkimaan 2000-luvun lopusta lähtien (Kivimäki et al. 2013). Pohjavesien havainnointi on pintavesien havainnointia haastavampaa sijaintinsa vuoksi, joten pohjavesitutkimuksissa on käytetty erilaisia merkkiaineita, kuten veden stabiileja isotooppeja. Vesistöihin tapahtuvalla pohjaveden purkautumisella voi paikoitellen olla suuri vaikutus vesistöjen tilaan, sillä pohjavesien saastuminen voi heikentää pintavesistöjen veden laatua merkittävästi ja toisaalta pintavesien likaantuminen voi heikentää pohjavesien laatua (Rosenberry ja LaBaugh 2008). Pohja- ja pintavesivaikutustutkimuksissa on tärkeää ymmärtää purkautuvaa pohjavettä ilmentävien kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden vuorovaikutus, jotta tutkimustuloksia voidaan tulkita oikein.

Purkautuva pohjavesi vaikuttaa purovesien laatuun, vesitaseeseen sekä ravinnetaseeseen, minkä kautta purkautuvan pohjaveden merkitys ilmenee myös purojen ekologiassa. Purkautuva pohjavesi alentaa vesistöjen lämpötilaa kesäaikaan sekä vaikuttaa muun muassa vesien silikaattipitoisuuteen. Koska piilevät käyttävät silikaattia kuorensa rakennusaineena, on oletettavaa, että puroon purkautuva pohjavesi vaikuttaa piilevälajistoon.

Piileviä käytetään vesistöjen tilan seurannassa ja niiden käyttöä vesistöjen tilan arvioinnissa ja luokittelussa on lisätty entisestään Euroopan Unionin alueella Vesipolitiikan puitedirektiivin voimaantulon jälkeen (Dixit et al. 1992, Eloranta et al. 2007). Piilevien esiintymistä ja eliöyhteisöjen muodostumista säätelevät useat eri ympäristötekijät. Piilevät ovat hyviä veden laadun indikaattoreita, sillä ne ovat ekologisesti herkkiä ja reagoivat nopeasti muuttuneisiin ympäristöolosuhteisiin. Lisäksi jokaisella piilevälajilla on myös omat optiminsa veden kemiallisiin tekijöihin (Stoermer ja Smol 1999).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää valuma-alueen geologisten taustatekijöiden, kuten maaperän ja pohjaveden purkautumisen vaikutusta latvapurojen piilevien lajikoostumukseen. Tarkastelussa käytetään piilevien lajistokoostumusta, purojen hydrogeokemiallista koostumusta, lämpötilahavaintoja sekä pohjasedimentin luonnetta. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnetään olemassa olevaa paikkatietoaineistoa sekä maaperästä että pohjavesialueista. Työssä käytetty aineisto kerättiin yhteensä 51 näytepisteestä niin, että ne edustivat koko rajattua valuma-aluetta.

2. PURKAUTUVAN POHJAVEDEN VAIKUTUS PUROVESIIN

2.1 Pohjavedet

Hydrologisessa kierrossa veden imeytyessä maaperään muodostuu maavettä tai pohjavettä. Pohjavesi siirtyy takaisin maanpinnalle kapillaarivoimien ja kasvillisuuden vaikutuksesta ja haihtuu ilmakehään tai siirtyy pohjavesivaluntana vesistöihin (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjavedet muodostavat maapallon merkittävimmän makean veden varannon käsittäen noin 98 % maapallon makean veden varannoista jäätikköjä lukuun ottamatta (Mälkki 1999). Noin puolet maapallon pohjavesistä on yli kilometrin syvyydessä, jolloin ne ovat soveltumattomia vedenhankintaan sekä saatavuudeltaan että laadultaan. Vesien imeytymiseen vaikuttavat mm. maa- ja kallioperän vedenjohtavuus, sateen määrä ja kesto, maaston muoto ja kaltevuus sekä kasvillisuus (Korkka-Niemi ja Salonen 1996).

Pohjavesivarastot täydentyvät, kun maankamaran pintaosa ottaa vastaan vettä ja vesi alkaa kerrostua alla olevan tiiviin pohjan päälle (Mälkki 1999). Mikäli maaperän läpäisevyysolosuhteet ovat hyvät, voi pohjaveden imeytyminen olla lähes yhtä suurta kuin sadanta. Etenkin sora-alueilla haihdunta ja pintavalunta voi jäädä hyvin vähäiseksi, jolloin pohjaveden muodostuminen on runsasta. Moreenipitoisilla mailla pohjavettä voi muodostua, mikäli moreenin rakenne, tiiviys ja kasvipeite ovat suotuisia. Karkearakeisilla moreenimailla pohjavedeksi suotautuva vesimäärä voi olla jopa yli 50 % sadannasta. Hienorakeisilla sedimenttialueilla suurin osa tulevasta vedestä poistuu pintavaluntana, mutta myös siltissä ja savessa tapahtuu jonkin verran pohjaveden muodostumista (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjaveden yläpuolisten muodostumien osissa geologiset ominaispiirteet tunnetaan hyvin ja niistä on runsaasti havaintoja. Syvemmällä olevissa horisonteissa, kuten pohjavesimuodostumien alapuolella sekä maa- ja kalliopinnan rajavyöhykkeissä ovat geologiset muodostumat vähemmän tunnettuja. Maaperän eri kerrosten hydrauliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti ja jopa saman maalajin hydraulinen johtavuus voi vaihdella suuresti (Mälkki 1996).

Pohjavedet ovat liuoksia, ja niissä on vaihtelevia määriä anioneja, kationeja ja humusaineita (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Niiden kemiallinen koostumus heijastaa usein kallioperän tai siitä syntyneen maaperän mineraalikoostumusta (Lahermo et al. 1990). Suomessa pohjavesien elektrolyyttien määrä on yleensä alhainen (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Mikäli pohjavettä sisältävän kerrostuman päällä on savesta, siltistä tai turpeesta kerrostuva eriste- tai hidastekerros, viipyy pohjvesi tällöin kerrostumassa tavallista pidempään. Pitkän viipymän vuoksi pohjavesiin voi liueta aineita tavallista enemmän (Lahermo et al. 1990).

Pohjavesi on jatkuvassa hitaassa liikkeessä, joka suuntautuu pohjaveden muodostumisalueilta purkautumisalueille (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Veden hydrologinen kierto tuo uutta vettä pohjavesivyöhykkeeseen samoin kuin pohjavesivarastoista tapahtuu purkautumista, jonka seurauksena vesivaraston tasapaino säilyy (Mälkki 1999). Pohjavesien purkautuminen on yleensä jatkuvaa (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjavesien purkautumista voi tapahtua haihtumalla, tiiksumalla sekä virtaamalla. Purkautumispaikkoja on usein vaikea havaita, sillä ne voivat olla kasvillisuuden tai veden peittämiä (Mälkki 1999).

2.2 Purovedet

Vesilain mukaan purolla tarkoitetaan vesistöä, jonka valuma-alue on suurempi kuin 10 km², mutta pienempi kuin 100 km² ja joka on jokea pienempi virtaavan veden vesistö. Puroa suuremmat virtavedet ovat jokia ja pienemmät noroja (Vesilaki 27.5.2011/587). Jos uomassa virtaa jatkuvasti vettä ja siinä esiintyy merkittävässä määrin kalaa, määritellään alue puroksi valuma-alueen koosta riippumatta (Hämäläinen 2015). Luonnontilaisissa puroissa esiintyy vaihtelevasti niin matalia alueita kuin syviä suvantokohtia. Luonnonuomat meandroivat usein ja ovat poikkileikkaukseltaan monimuotoisia toisin kuin muokatut purouomat, jotka ovat usein luonnontilaisia uomia lyhyempiä ja suorempia, minkä vuoksi niiden keskimääräinen virtausnopeus on luonnontilaisia puroja suurempi (Ahola ja Havumäki 2008).

Purovesien morfologia on lineaarista, eli virtaavassa vedessä on koko ajan samansuuntainen virtaus. Eliöstö ja elinympäristö muuttuvat siirryttäessä purojen latvaosista alaspäin. Virtausnopeuden vuodenaikaisvaihtelut voivat olla hyvin suuria ja

ajoittain voi tapahtua jopa uoman osittaista kuivumista. Maan pinnanmuodot määrittelevät uoman sijainnin, mutta vesi voi myös itse muuttaa uoman kulkua. Virtaavat vedet ovat vuorovaikutuksessa terrestrisen ympäristön kanssa. Purojen pohja muovautuu veden virratessa jatkuvasti ja eroosio kuluttaa uomaa. Latvaosissa tapahtuu eroosiota ja irronnutta mineraali- ja kasviainesta kulkeutuu virtausten mukana. Alempina sijaitsevilla osilla sekä suvantokohdissa aines voi sedimentoitua (Särkkä 1996).

Purovesien sekä purosedimenttien alkuainepitoisuudet kuvastavat sekä paikallisia ympäristöolosuhteita että valuma-alueen maa- ja kallioperän kemiallista koostumusta (Lahermo et al. 1996). Purovesien merkitys on tärkeää sekä luonnon vesitaloudelle että monimuotoisuudelle. Niiden ominaispiirteet luovat edellytykset eliöstön ja kasvillisuuden kehittymiselle. Virtaavat pienvedet muodostavat ekologisia verkostoja, jotka ovat merkittäviä eläinten ja kasvien leviämisen, lisääntymisen ja kulkureittejä. Lisäksi pienvedet toimivat ravinteiden pidättäjinä, tulvien säätelijöinä, veden laadun parantajina sekä kasteluvesien lähteinä (Hämäläinen 2015).

2.3 Purosedimentit

Purosedimentit koostuvat kiinteistä partikkeleista, jotka ovat Al-Fe-Mn-SiO₂-saostumien, kiintoaineksen, eloperäisen aineksen ja mineraaliaineksen yhdistelmiä (Arnell 2002, Lahermo et al. 1996). Partikkelit kulkeutuvat virtausten mukana ja kerrostuvat suvantoihin, kivenkoloihin ja vesikasvien lomiin. Purosedimenttien alkuainepitoisuudet kuvastavat paikallisia ympäristöolosuhteita sekä valuma-alueen maa- ja kallioperän kemiallista koostumusta ja vaihtelevat valuma-alueen olosuhteiden mukaan (Heininger et al. 2015, Lahermo et al. 1996). Purosedimentit vaikuttavat veden laatuun fysikaalisesti, kemiallisesti ja biologisesti, sillä sedimenttiin on usein sitoutunut ravinteita, kemikaaleja, orgaanista ainesta sekä eläin- ja teollisuusperäisiä jätteitä (Heininger et al. 2015). Purovesien mukana kulkeutuvia ainesosia sitoutuu sedimenttifaasiin, josta ne olosuhteiden muuttuessa vapautuvat takaisin veteen (Lahermo et al. 1996).

Purovesien lajittuneet karkeat sedimentit, kuten hiekka ja sora, koostuvat enimmäkseen kvartsista ja maasälvistä. Ne kuvastavat heikosti kallioperän kemiallista koostumusta ja

hivenainekoostumusta. Savien koostumus poikkeaa useimmiten kallioperän yleisestä kemiallisesta koostumuksesta, sillä sen koostumus kuvastaa lähinnä synty-ympäristöä ja niitä prosesseja, joiden tulosta savimineraalit ovat (Koljonen 1992). Purojen sedimenttien orgaaninen aine koostuu lähinnä kolloidisesta humuksesta, hieno- ja karkearakeisista kasvinjäänteistä sekä kuolleista tai elävistä kasvinosista (Lahermo et al. 1996). Orgaanisia maalajeja, kuten liejua, syntyy Suomessa enemmän kuin hajoaa ilmaston viileyden takia. Tätä eloperäistä ainesta kerääntyy muun muassa vesistöjen pohjasedimentteihin (Koljonen 1992). Suurin osa sedimentin eloperäisistä jäänteistä on allohtonista ainesta. Purosedimentti, joka koostuu pääasiassa eloperäisestä aineksesta, on mutaa. Mikäli sedimentissä on runsaasti savihiukkasia tai mineraalirakeita, nimitetään sitä liejuksi (Lahermo et al. 1996).

Purosedimenttien kemiallinen koostumus ja niihin sitoutuneiden metallien pitoisuudet voivat vaihdella eri vuodenaikoina. Tämä johtuu yleensä hydrometeorologisista vaihteluista, jotka vaikuttavat sedimenttien kulkeutumiseen, kerrostumiseen sekä veden ja sedimenttien väliseen ionitasapainotilaan (Lahermo et al. 1996). Moreenipitoisilla valuma-alueilla purojen sedimenttien mineraaliainekset vastaa mineraalikoostumukseltaan paikallista moreenia. Kuitenkin heikosti rapautumista kestävät mineraalit häviävät sedimentistä (Steenfelt 1993). Hienorakeisilla savi- ja silttialueilla sekä lajittuneilla sora- ja hiekka-alueilla purosedimentin mineraaliainekset on peräisin moreenialueeseen verraten laajemmalta alueelta (Lahermo et al. 1996).

Kasvien hajoavissa jäännöksissä, karikkeessa sekä humuksessa on paljon ioninvaihtoon ja kompleksiyhdisteiden muodostumiseen sopivia sitoutumispaikkoja. Tämän seurauksena orgaanisilla purosedimenteillä on suuri ioninvaihtokapasiteetti ja kyky sitoa metalleja. Lisäksi myös hienojakoinen mineraaliainekset on osallisena sedimenttien ja vesien välisissä ioninvaihto- ja adsorptioreaktioissa. Saves sitoo raskasmetalleja orgaanista ainesta heikommin, mutta enemmän verrattaessa hiekkaan. Purosedimenttien kasvinjäänteitä ja mineraaleja peittää hapettavissa olosuhteissa amorfinen tai heikosti kiteytynyt, koostumukseltaan vaihteleva Al-Fe-Mn-SiO₂-saostumakelmu, joka sitoo metalleja (Lahermo et al. 1996). Orgaanisen aineksen lisäksi sedimenttien kykyyn sitoa metalleja vaikuttaa saostumat. Saostumien kykyyn sitoa ioneja vaikuttaa saostumien pintavaraukset, joka puolestaan on riippuvainen sedimenttien huokosveden pH- ja Eh-tasosta, liuoksen ionivahvuudesta ja kompleksoivien orgaanisten ligandien määrästä

(Kontas 1979). Metallit adsorboituvat paremmin emäksisissä olosuhteissa, kun puolestaan orgaanisia anioneja sitoutuu enemmän alhaisessa pH:ssa (Lahermo et al. 1996).

2.4 Pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus

Pinta- ja pohjavedet ovat usein vuorovaikutuksessa keskenään. Vuorovaikutusten ajalliset ja paikalliset vaihtelut ovat riippuvaisia geologisista piirteistä, topografiasta ja ilmastosta. Pohjaveden purkautumisella voi olla paikoitellen huomattava vaikutus vesistöjen tilaan, sillä pohjaveden laadun huonontuminen ja pilaantuminen voi heikentää myös pintavesien laatua merkittävästi (Ala-aho 2014, Rautio ja Korkka-Niemi 2015). Sekoittumisvyöhykkeissä veden hiilen, hapen, ravinteiden ja muiden kemiallisten yhdisteiden saatavuus vaihtelee. Esimerkiksi hapetus-pelkistys-olosuhteet voivat vaihdella hydraulisten yhteyksien suunnan vaihteluiden seurauksena, jotka johtuvat vedenpinnan korkeuksien vaihteluista. Tämä puolestaan aiheuttaa vaikutuksia geokemiallisiin prosesseihin sekoittumisvyöhykkeen sedimentissä ja maakerroksissa (Winter et al. 1999, Kivimäki et al. 2013).

Pinta- ja pohjavesien vuorovaikutussuhteiden tutkimiseen on kehitetty monia eri menetelmiä (Rosenberry et al. 2008). Pohja- ja pintaveden osuuksia voidaan arvioida veden laadun perusteella, kuten määrittämällä veden hapen ja vedyn isotooppikoostumus, liuennan silikaatin pitoisuus sekä pääionikoostumus (Kivimäki et al. 2013). Lisäksi pintavesi-pohjavesi vuorovaikutusta on mahdollista tutkia termisin menetelmin, kuten lämpökamerakuvausten avulla, joka perustuu pinta- ja pohjaveden lämpötilaeroihin (Rautio 2015). Kohdealueelle parhaiten soveltuvat tutkimusmenetelmät riippuvat tutkimusalueen fysikaalisista ja hydrologisista olosuhteista sekä vuorovaikutusten laajuuksista. Pienille paikallisille tutkimusalueille soveltuvia tutkimusmenetelmiä ja -laitteita ovat muun muassa veden laadun mittaus ja sedimentin lämpötilamittaus. Pinta- ja pohjavesien vuorovaikutussuhteita tarkasteltaessa on hyvä käyttää useampaa kuin yhtä tutkimusmenetelmää (Korkka-Niemi et al. 2009).

Pohjaveden purkautuminen purouomaan voi parantaa puroveden laatua laimentamalla veteen kulkeutuneiden haitta-aineiden pitoisuuksia. Mikäli pohjavedessä esiintyy korkeita haitta-ainepitoisuuksia, voi pohjaveden purkautuminen puolestaan aiheuttaa

epätoivottuja muutoksia pohjavesistä riippuvaisten uomien kasvi- ja eläinlajistoon (Kivimäki et al. 2013).

2.4.1 Isotooppikoostumus

Luonnonvedet eroavat toisistaan hapen ja vedyn isotooppikoostumuksen suhteen ja etenkin pohja- ja pintavesien välillä isotooppikoostumusero on usein huomattava (Kortelainen 2005). Luonnonvesien vedyn ja hapen isotooppikoostumukseen aiheutuu systemaattisia vaihteluita hydrologisesta kiertokulusta (Kivimäki et al. 2013). Vaihtelut johtuvat pienistä fysikaalisista ja kemiallisista eroista vedyn ja hapen eri isotoopeista koostuvien vesimolekyylien välillä (Karhu 2001). Luonnossa tapahtuvat erilaiset kemialliset ja fysikaaliset prosessit suosivat vaihtelevasti joko alkuaineen kevyempää tai raskaampaa isotooppia, jolloin tapahtuu isotooppikoostumusta muuttavia prosesseja, eli fraktioitumista. Tärkeimpiä hapen ja vedyn isotooppikoostumusta muuttavia prosesseja ovat sadeveden tiivistyminen sekä haihdunta. Fraktioitumisessa hapen ja veden isotooppikoostumukseen syntyy systemaattisia eroja, joiden avulla on mahdollista tutkia eri vesien alkuperää (Kortelainen 2005, Kivimäki et al. 2013).

Pinta- ja pohjavesien vuorovaikutusta voidaan tutkia veden stabiilien isotooppien avulla. Isotooppikoostumusero on usein riittävä, jotta seosvedessä olevien komponenttien osuuksia voidaan arvioida ilman erillisten merkkiaineiden lisäystä systeemiin (Kortelainen ja Karhu 2001). Veden stabiileja isotooppeja ^2H ja ^{18}O voidaan käyttää hydrologisissa tutkimuksissa määrittämään puroihin purkautuvan pohjaveden määrää sekä ajallista vaihtelua (Kortelainen 2011). Virtavedet muodostavat haihdunnan vaikutuksesta isotooppikoostumukseltaan hapen ja vedyn raskaampien isotooppien suhteen rikastuneen ryhmän. Tämä voidaan erottaa sadannasta ja suoraan sadannasta syntyneestä pohjavedestä (Kivimäki et al. 2013). Kun vedessä tapahtuu haihtumista, rikastuvat hapen ja vedyn raskaammat isotoopit (^{18}O ja ^2H) suhteessa veden kevyempiin isotooppeihin (^{16}O ja ^1H) (Lindsberg et al. 2017).

Stabiilien isotooppien käyttö pinta- ja pohjavesien sekoitussuhteiden laskemisessa perustuu riittävään poikkeamaan pintaveden ja pohjaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumuksessa (Kivimäki et al. 2013). Suomessa vuoden keskilämpötila säätelee merkittävästi sadeveden ja siten pohjaveden isotooppikoostumusta (Kortelainen

2005). Pohjavedessä tapahtuvat vuodenaikaiset hapen ja vedyn isotooppikoostumukset ovat melko pieniä, mutta pintavesissä vaihtelu on suurempaa (Kivimäki et al. 2013). Pintavesissä tapahtuu jatkuvaa haihtumista, jolloin pintavesi rikastuu hapen ja vedyn raskaamman isotoopin suhteen, mikä aiheuttaa pinta- ja pohjavesien välille huomattavan isotooppikoostumuseron (Kortelainen 2005). Koska virtaavissa vesissä viipymä on pienempää verrattaessa järvivesiin, ei haihtumisen vaikutus ole purovesissä niin selkeää kuin järvissä. Virtaavissa vesissä isotooppikoostumuksen ajallinen vaihtelu muodostuu valuma-alueelta lähtöisin olevien vesien, kuten sadannan, pintavalunnan ja puroon laskeutuvien pinta- ja pohjavesien osuuksista virtavedessä (Clark ja Fritz 1997, Kivimäki et al. 2013). Purovesien pinta- ja pohjaveden suhteelliset osuudet riippuvat valuma-alueen fysikaalisista ominaisuuksista, ilmastollisista olosuhteista sekä maankäyttömuodoista (Kendall ja Coplen 2001).

Isotooppeja tutkittaessa mitataan isotooppien suhteellisia osuuksia, eli raskaamman isotoopin suhdetta kevyempään isotooppiin. Koska mitattu suhdeluku on hyvin pieni, esitetään isotooppikoostumukset delta-arvoina δD ja $\delta^{18}O$. Happea tutkittaessa isotooppisuhde on $^{18}O/^{16}O$ ja vedyllä D/H. Delta-arvot δD ja $\delta^{18}O$ kuvaavat isotooppisuhteen poikkeamaa kansainvälisestä merivesistandardista (VSMOW) promilleina. Happianalyyseissä mittausvirhe ($<0,1\%$) on pienempi kuin vedyllä ($1,0\%$) (Kortelainen ja Karhu 2001). Suomessa haihduta on vähäistä, joten pohjavesien isotooppikoostumus heijastaa alueen keskimääräistä sadantaa. Eri vesistöjen isotooppiarvot kuitenkin poikkeavat toisistaan. Pohjavesien δD ja $\delta^{18}O$ –arvot ovat Suomen eteläosissa huomattavasti suuremmat kuin pohjoisosissa. Etelä-Suomesta Pohjois-Suomeen siirryttäessä pohjavesien δD –arvot voivat laskea noin 30 promillea ja $\delta^{18}O$ –arvot 3,5 promillea, mikä johtuu vallitsevista lämpötilaoloista (Karhu 2001).

Meteoriset vedet ovat ilmakehässä olevia tai sen kautta kulkeutuneita vesiä (Karhu 2001). Globaali meteoristen vesien suora (GMWL) kuvaa maailmanlaajuisesti hapen ja vedyn isotooppiarvojen riippuvuutta sadannassa ja jonka lähettyville lähes kaikki meteoriset vedet sijoittuvat (Kaava 1) (Kortelainen 2007):

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10\text{‰} \quad (1)$$

δD = deuteriumin delta-arvo

$\delta^{18}O$ = happi-18 isotoopin delta-arvo

Myös Suomessa pohjavesien isotooppiarvot asettuvat GMWL:n tuntumaan. Purovesien isotooppikoostumus ei osu globaalille meteoristen vesien suoralle, vaikka niiden vedet ovat alun perin peräisin sadannasta. Virtaavissa vesissä tapahtuu haihduntaa, jonka vuoksi vedet rikastuvat raskaampien hapen ja vedyn isotooppien suhteen, jolloin vedet siirtyvät pois suoralta kohti positiivisempia δ -arvoja. Näin purovedet muodostavat δD ja $\delta^{18}O$ –arvojen suhteen ryhmän, joka voidaan erottaa suoraan sadannasta imeytymisen kautta syntyneestä pohjavedestä (Clark ja Fritz 1997, Karhu 2001, Kortelainen 2007).

Globaali meteoristen vesien suora on saatu määriteltä keskiarvona useiden paikallisten meteoristen vesien suorista. Tietyn alueen vesien δD ja $\delta^{18}O$ –arvojen perusteella laadittu lokaalisten vesien suora (LMWL) (Kaava 2) (Kortelainen 2007) poikkeaa hieman GMWL:stä. GMWL:n vaikuttavat paikalliset tekijät, kuten ilmasto, maantieteelliset olosuhteet, haihtuminen ja sadanta. Yhtälö on laadittu Kortelaisen (2007) keräämän sadanta-aineiston perusteella (sadeasemat Espoossa, Kuopiossa ja Rovaniemellä).

$$\delta D = 7.67 * \delta^{18}O + 5.79\text{‰} \quad (2)$$

δD ja $\delta^{18}O$ –arvoista voidaan laskea Deuteriumin ylijäämä, eli d-excess-arvo, mikä kuvaa tutkittujen vesien alkuperää sekä haihtuneisuutta (Kaava 3) (Dansgaard 1964). Haihtumattomissa pohjavesissä d-excess on yleensä noin $10 \pm 1 \text{‰}$. Puolestaan haihtuneissa pintavesissä arvo on selvästi alle 10‰ (Kortelainen 2007).

$$d = \delta D - 8 * \delta^{18}O\text{‰ VSMOW} \quad (3)$$

d = deuteriumin ylijäämä

δD = deuteriumin delta-arvo

$\delta^{18}O$ = happi-18 isotoopin delta-arvo

2.4.2 Liennut silikaatti

Korkeat silikaattipitoisuudet kuvastavat pohjaveden vallitsevaa osuutta virtaavassa vedessä (Kivimäki et al. 2013). Pii on maankuoren toiseksi yleisin alkuaine, joka yhdessä hapen, alumiinin ja metalli-ionien kanssa muodostaa silikaatteja. Suomen kallioperä koostuu pitkälti erilaisista silikaateista, mikä näkyy pohjavesien korkeina silikaattipitoisuuksina. Piitä liukenee maa- ja kallioperästä veteen sekä liunneena että mahdollisesti kolloidisena piihappona (Lahermo et al. 1990, Lahermo et al. 2002). Vesiin liennut silikaatti (DSi) on peräisin silikaattimineraalien, kuten kalimaasälvän, kiilteiden ja kvartsin rapautumisesta ja hajoamisesta (Conley et al. 2000, Lahermo et al. 2002). Liunneen silikaatin määrään vaikuttavat kivilaji- ja mineraalikoostumus, rapautumisen voimakkuus, ilmaston vaihtelu ja piilevätuotanto (Conley 1997). Silikaattimineraalien rapautumisalttius kallio- ja maaperässä riippuu niiden kiderakenteesta ja kemiallisesta koostumuksesta. Helposti rapautuvat silikaattimineraalit, kuten oliviini, hydrolysoituu ja liukenee helposti, kun puolestaan maasälpien ja kiilteiden rapautuminen on monitahoinen geokemiallinen tapahtuma (Lahermo et al. 2002).

Silikaatti toimii hyvänä merkkiaineena, sillä sitä on sadevedessä hyvin vähäisiä määriä (Rautio ja Korkka-Niemi 2015). Liunneen silikaatin pitoisuudet riippuvat pohjaveden viipymästä sekä maaperän laadusta (Soveri et al. 2001). Silikaattipitoisuuksiin vaikuttavat melko vähän veden muut pääionipitoisuudet. Usein pohjaveden pitkä viipymä nostattaa silikaattipitoisuuksia (Lahermo et al. 1990). Vesistöjen liunneen silikaatin pitoisuuksia vähentää piilevätoiminta, sillä piilevät käyttävät piidioksidia kuoriensa rakennusaineeksi (Conley et al. 2000). Happamat vedet, jotka sisältävät vain vähän liunneita aineita, liuottavat silikaattimineraaleista ja piisaostumista tehokkaammin piihappoa kuin neutraalit tai emäksiset vedet (Lahermo et al. 2002). Conley et al. (2000) tutkimusten perusteella piilevien kasvu sekä sedimentaatio aiheuttavat silikaattipitoisuuksien pienentymisen järvien ja altaiden suhteellisen pinta-alan kasvun funktiona.

2.4.3 Lämpötila- sekä pääionimääritys

Maaperän maalajikoostumus ja kerrosrakenteet, uoman muoto ja syvyys sekä sedimenttien koostumus aiheuttavat lämpötilaeroja vesikerrosten eri syvyyksissä. Veden laadun määrittämisellä sekä sedimentin ja veden lämpötilan mittauksilla pystytään tutkimaan pohja- ja pintaveden vuorovaikutuksia sekä sekoittumisvyöhykkeessä tapahtuvia ilmiöitä (Kivimäki et al. 2013). Pohjaveden purkukohtia voidaan havainnoida esimerkiksi lämpökamerakuvaustekniikan avulla, joka perustuu pinta- ja pohjaveden lämpötilaeroihin (Rautio 2015) sekä mittaamalla veden ja sedimenttien lämpötiloja. Pohjaveden purkautumisen vaikutus näkyy sedimentin sekä puroveden alhaisina lämpötiloina. Purovesien ja –sedimenttien lämpötilamittauksen avulla voidaan saada yleiskuva pohjaveden ja pintaveden yhteyksistä geologisilta olosuhteiltaan erityyppisillä virtausosuuksilla. Maaperän maalajikoostumus ja kerrosrakenteet sekä sedimenttien koostumus aiheuttavat vaihteluita lämpötila-anomioihin vesikerrosten eri syvyyksillä (Kivimäki et al. 2013).

Pohja- ja pintaveden sekoittumista voidaan tutkia myös veteen liuenneiden pääionien (kationit Ca-Mg-Na , K ja anionit HCO_3^- – SO_4^{2-} – Cl) suhteiden avulla. Pääionien avulla vesiä voidaan luokitella, tutkia erilaisten vesien sekoittumista sekä tarkastella vesien kemiallista evoluutiota. Mikäli K- ja NO_3^- -pitoisuudet ovat pieniä, ei niitä usein huomioida, sillä ne eivät vaikuta oleellisesti ionisummiin. Suomen matalat pohjavedet ovat usein Ca-HCO_3^- -tyypin vesiä. Pääionipitoisuuksien perusteella ei voida arvioida purkautuvan pohjaveden määriä virtaavan veden uomaan, mutta niiden avulla voidaan antaa karkea arvio vuorovaikutuksen laadusta (Kivimäki et al. 2013).

3. PIILEVÄT

Piilevien avulla voidaan tutkia veden laatua sekä arvioida nykyistä ja mennyttä ympäristöä (Chepurnov et al. 2004). Etenkin virtaavissa vesissä piilevätutkimus on merkittävässä asemassa veden laadun arvioinnissa ja seurannassa, sillä pienissä puroissa ja joissa pohjalevät saattavat olla merkittävin ja pysyvin perustuottajayhteisö. Piilevätutkimuksia on tehty useiden vuosikymmenien ajan ja tietoa eri piilevälajien

suosimista kasvuolosuhteista on runsaasti tarjolla. Suomessa pohjalevästöä on käytetty järvi- ja jokiveden laadun arviointiin 1970-luvulta saakka (Eloranta et al. 2007). Piilevät (*Bacillariophyceae*) ovat geologisesti melko nuori leväryhmä. Ne ilmestyivät nykytiedon mukaan maapallolle vasta mesotsooisella maailmankaudella alle 250 miljoonaa vuotta sitten (Medlin 2011). Ilmestymisensä jälkeen ne levittäytyivät nopeasti lähes kaikkiin akvaattisiin ympäristöihin, joissa oli niille suotuisat olosuhteet (Medlin 2011). Piilevillä on merkittävä osuus globaaleissa biogeokemiallisissa kierroissa ja ne tuottavat noin 20-15 prosenttia maailman hiilidioksidivaroista (Mann 1999).

Piilevät ovat yksisoluisia, aitotumaisia mikroskooppisia leviä, joilla on tunnusomainen, monimutkaisesti kuvioitu silikaattikuori, johon piilevätunnistus pääasiassa perustuu (Round et al. 1990, Dixit et al. 1992). Arvioidaan, että eri piilevälajeja olisi noin 200 000 (Wetzel et al. 2012). Piilevät ovat hyviä veden laadun indikaattoreita, sillä ne ovat ekologisesti herkkiä ja eri lajisuhteet heijastavat erilaisia ympäristöolosuhteita. Piilevät keräävät ravintonsa suoraan vedestä, jolloin vedenlaadun muutokset vaikuttavat niihin suoraan. Lisäksi piilevät reagoivat nopean elinkiertonsa ja runsaan lajimääränsä vuoksi vedenlaatumuutoksiin jopa muutamassa päivässä (Dixit et al. 1992, Stoermer et al. 1999, Eloranta et al. 2007).

Piileviä esiintyy lähes kaikissa vesiekosysteemeissä ja kosteissa maaekosysteemeissä (Sims et al. 2006) lukuun ottamatta hyvin kuumia ja suolaisia vesistöjä. Piilevät viihtyvät sekä makeissa että suolaisissa vesissä kaikkialla eri leveysasteista riippumatta (Round et al. 1990). Useimmiten piilevät esiintyvät kolonnioissa, mutta voivat kasvaa myös yksittäisesti (Julius et al. 2010). Piilevät voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään; planktisiin ja benttisiin piileviin. Planktiset piilevät liikkuvat vedessä vapaasti, benttiset puolestaan elävät kiinnittyneinä kasvualustansa tai vapaina (Round et al. 1990). Perifyyttiset, eli kovaan kasvualustaan, kuten kiviin, puihin ja kasveihin kiinnittyneet piilevät jaotellaan kasvualustansa mukaan epilittiisiin, eli kivien päällä kasvaviin, epipeelisiin, eli sedimentin pinnalla kasvaviin, epifyyttisiin, eli kasvin päällä kasvaviin sekä episammisiin, eli hiekan pinnalla kasvaviin (Stevenson 1996a, Eloranta et al. 2007).

3.1 Rakenne

Piilevät jaetaan kahteen eri ryhmään; Centrales-lahkoon ja Pennales-lahkoon. Nämä lahkot eroavat toisistaan kuoren rakenteiden perusteella (van den Hoek et al. 1996). Piilevät, jotka ovat säteittäissymmetrisiä ja muodoltaan ympyränmallisia tai polygonaalisia, kuuluvat useimmiten Centrales-lahkoon. Pitkänomaiset, kaksipäiset sekä pitkittäis- ja poikittaissymmetriset piilevät kuuluvat puolestaan Pennales-lahkoon. Pennales-lahkoon kuuluvilla piilevillä on usein yksi tai kaksi pituussuunnassa kulkevaa rakoja, raafeja, joka mahdollistaa piilevien liikkumisen alustaa pitkin (Round et al. 1990, van den Hoek et al. 1996). Raafen puuttuessa useimmat centrales –lahkoon kuuluvat piilevät ovat liikkumattomia (van den Hoek et al. 1996). Raafen ominaispiirteet, kuten pituus, sijainti ja rakenne ovat tärkeitä tunnusmerkkejä (Round et al. 1990).

Piilevien kuorten koot, muodot, pinnan kuvioinnit sekä symmetriasuhteet vaihtelevat paljon (Kuva 1). Piilevien kuori, frustuli, koostuu pääasiassa piidioksidista (SiO_2), joka muodostaa piileville niiden tunnusomaisen soluseinämän (Round et al. 1990). Soluseinämässä on kaksi eri puoliskoa, eli valvaa, joista ylemppää kutsutaan epivalvaksi ja alempaa hypovalvaksi. Alempi valva on kooltaan pienempi kuin ylempi valva. Valvojen välissä olevat vyötiäisnauhat kiinnittävät epi- ja hypovalvan toisiinsa (Round et al. 1990, Dixit et al. 1992). Valvat ovat kiinnittyneinä toisiinsa tiiviisti, joten materiaalien virtaus, kuten ravinteiden otto sekä kaasunvaihto tapahtuvat pääasiassa soluseinämän huokosten tai rakojen kautta (Round et al. 1990, Cox 2011). Frustulin molemmat valvat ovat eri ikäisiä. Nuorempi valva on voinut muodostua viimeisimmän solujakatumisen aikana, kun puolestaan vanhempi valva on saattanut tehdä useita solunkiertoja oman muodostumisensa jälkeen. Myös vyötiäisnauhat ovat eri ikäisiä. Vanhempaa valvaa ja sen vyötiäisnauhoja kutsutaan epiteekaksi, nuorempaa valvaa ja sen vyötiäisnauhoja hypoteekaksi (Round et al. 1990, Cox 2011). Valvojen pinnoilla on huokoisia, aukkomaisia rakenteita, strioja. Ne muodostavat valvan pinnalle yhtenäisiä linjoja, jotka ovat tunnusomaisia piirteitä eri piilevälajeille (van den Hoek et al. 1996).



Kuva 1. Purovesien piileviä mikroskoopista kuvattuna (mittakaava kuvassa mikrometreissä).

3.2 Biologia

Piilevät lisääntyvät useimmiten suvuttomasti. Suvuton lisääntyminen tapahtuu solujakautumisen avulla, missä kuoren sisälle muodostuvat uudet soluseinämät, eli hypoalvat (Round et al. 1990, Eloranta et al. 2007). Solun jakautuessa uusi soluseinä perii puolet isäntäsolun valvasta, ja toinen puolikas muodostuu uutena, jolloin isäntäsolusta muodostunutta valvaa kutsutaan epiteekaksi ja uutena muodostunutta valvaa hypoteekaksi. Suvuttomassa lisääntymisessä piileväpopulaation solukoko pienenee yleensä jokaisessa solujakautumisessa, sillä isäntäsoluseinämät rajoittavat sen sisälle muodostuvan uuden hypoalvan muotoa ja kokoa. Joissain piileväpopulaatioissa solukoko ei juurikaan pienene solujakautumisen seurauksena, sillä niiden vyötiäisnauhojen joustava rakenne ylläpitää solukokoa (Round et al. 1990, Cox 2011). Piilevälajien solukoko saattaa vaihdella paljon solujakautumisen seurauksena, mikä aiheuttaa haasteita piilevälajien tunnistuksessa. Eri piilevälajeilla on oma minimikokonsa, jonka saavuttaessaan piilevät lisääntyvät suvullisesti aukesporien

muodostumisen kautta. Suvullisessa lisääntymisessä piilevien alkuperäinen maksimikoko palautuu (Round et al. 1990, Eloranta et al. 2007).

3.3 Ekologia

Piileviä elää erilaisissa vesiekosysteemeissä. Päävaatimuksena elinympäristölle ovat riittävä veden, valon, tilan sekä ravintoaineiden, kuten silikaattien määrä (Stevenson 1996a, Tiffany 2011). Piilevien esiintymiseen vaikuttavat kemialliset, fysikaaliset sekä biologiset tekijät (Stevenson 1996a). Kemiallisista tekijöistä merkittävimpiä ovat pH, kiintoaineksen määrä, elektrolyyttipitoisuus, humus sekä ravinnepitoisuus. Fysikaalisista tekijöistä piilevien esiintymisen kannalta tärkeimpiä ovat valon määrä, pohjan laatu, veden virtausominaisuudet sekä lämpötila. Biologisista tekijöistä esimerkiksi pohjaeläinten laidunnus vaikuttaa piilevien esiintymiseen. Kullakin piilevälajilla on omat optimiolosuhteet, joissa on kullekin lajille ominaiset pH-, lämpötila-, suolaisuus- ja ravinnepitoisuudet (Eloranta et al. 2007, Julius et al. 2010). Etenkin vesikemia säätelee piilevâyhteisöjen koostumusta huomattavasti (Soininen 2004).

Piilevät ovat hyviä vedenlaadun indikaattoreita, sillä ne reagoivat herkästi fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin muutoksiin (Biggs 1996, Stevenson et al. 2010). Piilevâyhteisöjen koostumukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään; epäsuorasti vaikuttaviin tekijöihin, kuten ilmasto, maankäyttö ja geologia sekä suorasti vaikuttaviin tekijöihin, kuten valo, ravinteet, pH ja lämpötila (Biggs 1996, Stevenson et al. 2010). Epäsuorasti vaikuttavat tekijät, kuten geologia, vaikuttaa veden kemialliseen koostumukseen ja säätelee sitä kautta piileväkoostumusta. Paikalliset ympäristöolosuhteet vaikuttavat piilevâyhteisöihin yleisesti enemmän kuin laaja-alaiset, epäsuorasti vaikuttavat ilmastolliset ja geologiset tekijät (Pan et al. 1999).

Ravinteet ja valo ovat tärkeimpiä resursseja, jotka lisäävät piilevätuotantoa (Stevenson 1996a). Eri piilevälajeilla on omat minimiresurssivaatimukset, jotka on täyttyttävä, jotta kyseistä lajia esiintyisi. Lajit, joiden resurssivaatimukset täyttyvät ja jotka sopeutuvat hyvin vallitseviin olosuhteisiin, ovat dominoivia. Mikäli olosuhteet muuttuvat, saattavat toiset lajit sopeutua uusiin vallitseviin olosuhteisiin paremmin ja tulla vallitseviksi

lajeiksi (Stevenson 1996a). Kasvua rajoittavia tekijöitä ovat mm. tilan- ja ravinnonpuute. Tilanpuute vähentää ravinteiden ja valon määrää (Stevenson 1996a).

Valo on ravinteiden ohella merkittävin piilevien kasvua rajoittava tekijä (Hill ja Knight 1988). Riittävä valomäärä on edellytys piilevien yhteyttämiselle (Hill 1996). Piilevät elävät veden valaistussa kerroksessa, kuten virtavesien matalissa koskipaikoissa (Eloranta et al. 2007). Muutokset valon määrässä ja laadussa vaikuttavat piileväpopulaation kasvuun ja fysiologiaan sekä piileväyhteisön rakenteeseen. Valon määrä vedessä saattaa vaihdella huomattavasti riippuen mm. kasvillisuudesta, vuodenajasta, veden syvyydestä sekä kirkkaudesta (Hill 1996). Virtaavien vesien valon määrä sekä laatu voivat vaihdella paljon (Eloranta et al. 2007). Etenkin metsäisillä alueilla kasvillisuus saattaa usein rajoittaa valon määrää merkittävästi (Hill ja Knight 1988). Kasvuston lisäksi veteen kulkeutuva humus absorboi tehokkaasti valoa sekä muuttaa veteen tulevan valon laatua (Wetzel 1983). Veden syvyys vaikuttaa valon absorboitumiseen. Kirkkaissa ja matalissa vesistöissä valonmäärä voi olla huomattavasti suurempi kuin syvemmissä, pyörteisissä vesissä (Hill 1996). Vuodenaikojen vaihtelu ei näyttäisi vaikuttavan piileviin merkittävästi, sillä useimmat piilevät esiintyvät kaikkina vuodenaikoina (Eloranta et al. 2007).

Lämpötilalla on merkittävä vaikutus epäsuorasti erityisesti valon kautta (Anderson 2000). Auringon säteily vaikuttaa veden lämpötilaan etenkin kirkkaissa vesistöissä, jolloin veden lämpö konvektoituu piileviin. Auringonvalon lisäksi veden lämpötilaan vaikuttavat leveys- ja korkeusasteet, mantereisuus, sijainti ja alueen morfologia (DeNicola 1996). Pohjaveden purkautumisalueet vaikuttavat vesistöjen lämpötiloihin merkittävästi laskemalla lämpötilaa. Virtaavissa vesissä alavirtaan mentäessä lämpötila yleensä kasvaa (DeNicola 1996). Lämpötila vaikuttaa piilevien biokemiallisiin reaktioihin, kasvunopeuteen sekä rakenteeseen (DeNicola 1996, Weckström et al. 1997). Lisäksi lämpötila vaikuttaa piileväyhteisöjen koostumukseen (Allan ja Castillo 2007). Eri piilevälajit suosivat tietyn lämpöisiä vesiä (DeNicola 1996), mutta yleisesti piilevät esiintyvät 5-20 °C vesissä (Allan ja Castillo 2007).

Veden happamoitumisella on merkitystä piileville, sillä alhainen pH vaikuttaa piilevien rakenteisiin ja aineenvaihduntaan sekä lisää levien kuolleisuutta (Allan 1995). Neutraaleissa vesissä piilevien lajirunsaus on huomattavasti suurempaa kuin

happamissa vesistöissä. Emäkset vesistöt saattavat vaikuttaa haitallisesti piilevien elinolosuhteisiin, sillä korkea pH vaikuttaa epäorgaaniseen ammoniumtyyppeen muuttamalla sitä myrkylliseksi ammoniakiksi (Eloranta et al. 2007). Piilevät voidaan luokitella pH-arvojen mukaan; asidobiontit ($\text{pH} < 5,5$) ovat happamuutta vaativia, asidofiilit ($\text{pH} < 7$) happamuutta suosivia, neutrofiilit ($\text{pH} \sim 7$) neutraalia suosivia, alkafiilit ($\text{pH} > 7$) emäksisyyttä suosivia sekä alkalibiontit ($\text{pH} 7$) emäksisyyttä vaativia. Piilevät, joilla ei ole selvää pH-optimaalia, ovat nimetty indifferenteiksi (van Dam et al. 1994, Eloranta et al. 2007). Laajassa pH-optimissa esiintyvät piilevät ovat hyvin harvinaisia. Esimerkiksi *Achnanthes minutissima* –lajia esiintyy hyvin runsaasti yli 5 pH:n vesissä, mutta happamimmissa vesissä niitä ei juuri esiinny (van Dam et al. 1994). Piilevien avulla on mahdollista tutkia sekä pitkäaikaista happamoitumista että jaksoittaista, esimerkiksi myrskyn aiheuttamaa lyhytaikaista happamoitumista (Hirst et al. 2004).

Muutokset veden virtausnopeudessa vaikuttavat merkittävästi piilevien rakenteeseen (Eloranta et al. 2007). Virtaavan veden mukana kulkevat ravinteet, joita piilevät hyödyntävät (Borchardt 1996). Virtauksissa esiintyvät pyörteet saavat ravinteet liikkumaan, jolloin piilevien ravinteidenottokyky kasvaa (Biggs et al. 1998). Pohjalevien kasvua edistää myös virtauksen aiheuttama heikkokuntoisten ja kuolleiden leväsolujen poistuminen virtaavan veden mukana (Eloranta et al. 2007). Virtausnopeuden ollessa kovapohjaisella alustalla noin 0,4 - 0,8 m/s, on pohjalevien lajimäärä yleensä suurin (Allan 1995). Virtausnopeuden kasvaessa yli 1 m/s, vähenee pohjalevien määrä huomattavasti (Eloranta et al. 2007). Kun virtausnopeus kasvaa, alkaa virtaava vesi vetää piileviä kasvualustaltaan (Biggs et al. 1998), jolloin tiukasti kasvualustaansa kiinnittyneet lajit selviytyvät parhaiten. Lisäksi virtaavan veden mukana kulkeutuva kiintoaine aiheuttaa paikoittaista hankausta, jolloin piilevät voivat irrota kasvualustastaan ja aiheuttaa laikuittaisuutta piilevyhteisöissä (Stevenson 1996 b, Eloranta et al. 2007). Alhainen virtausnopeus (0,1 – 0,5 m/s) rajoittaa piilevien kasvua, sillä veden sekoittuminen heikkenee ja näin ollen ravinteiden määrä vähenee (Stevenson 1996 b).

Piilevät käyttävät ravintoaineinaan mm. silikaatteja, typpeä, fosforia, epäorgaanista hiiltä ja B12 –vitamiinia, joista typpeä ja fosforia pidetään tärkeimpinä ravinteina (Werner 1977, van Dam et al. 1994, Borchardt 1996). Piilevät reagoivat herkästi

ravinnepitoisuuksien muutoksiin (Stevenson et al. 2010) pystyen hyödyntämään pääasiassa vain ravinteiden epäorgaanisia yhdisteitä, fosfaattia ja nitraattia (Eloranta et al. 2007). Typpi ja fosfori ovat useimmiten kasvua rajoittavia ravinteita (Borchardt 1996, van der Grinten et al. 2004). Kasvua rajoittavia tekijöitä ovat ne ravinteet, joita on suhteessa vähiten piilevien tarvitsemaan määrään. Vain yksi ravinne voi olla rajoittava tekijä kerrallaan. Kilpaillessaan samoista ravinteista ne piilevälajit, jotka pystyvät hankkimaan eniten ravinteita kasvuunsa, rajoittavat muiden lajien kasvua ja menestymistä. Muita kasvua rajoittavia ravinteita ovat silikaatit (Borchardt 1996), jotka ovat edellytys piilevien kuoren muodostumiselle sekä tärkeä tekijä solujakautumisessa (Patrick 1977). Kun piilevien valoisuus- ja lämpötilaolosuhteet eivät ole lajeille optimaaliset, käyttävät piilevät kasvuunsa tällöin enemmän ravinteita (Borchardt 1996). Niukkaravinteisissa vesistöissä vähäisetkin ravinnelisykset aiheuttavat lajimuutoksia piilevyhteisöihin (Eloranta et al. 2007).

Tutkimuksissa veden värin on huomattu vaikuttavan piilevyhteisöjen rakenteisiin ja maantieteelliseen esiintymiseen (Soininen 2004). Suomessa pintavedet ovat usein hyvin värillisiä sekä humuspitoisia ja lähellä maanpintaa olevissa pohjavesissä saattaa esiintyä runsaasti humusta. Veden värilukua voidaan verrata suoraan veden orgaanisen aineen määrään, jolloin suuri humuspitoisuus aiheuttaa korkean väriluvun (Lahermo et al. 2002). Humuspitoisuus vaikuttaa veden valaistun kerroksen paksuuteen estämällä valon tunkeutumista veteen. Näin ollen runsaasti humusta sisältävissä vesissä valaistu kerros saattaa olla hyvin ohut. Tumma vesi imee myös auringonsäteilyä, jolloin pintaveden lämpeneminen aiheuttaa veden lämpökerrostuneisuutta (Eloranta 1978). Humuspitoisissa vesissä rauta vaikuttaa veden värilukuun. Lisäksi myös alumiini, mangaani ja nitraatti lisäävät väripitoisuutta (Lahermo et al. 2002). Humus saattaa vähentää raskasmetallien myrkytysvaikutuksia piilevissä (Soininen 2004). Koska humuksella on suuri ioninvaihtokapasiteetti ja kompleksien muodostamiskyky, sitoo humus raskasmetalleja ja hivenaineita (Lahermo et al. 2002).

Kasvualustan ominaisuudet vaikuttavat sen päällä kasvavaan piilevyhteisöön (Blinn et al. 2007). Virtaavissa vesissä kasvualustan ja veden välinen vuorovaikutus on merkittävä tekijä piilevien esiintymisessä (Cox 2009). Esimerkiksi veden pyörteisyys lisääntyy alustan ollessa epätasainen, mikä aiheuttaa ravinnekierron voimistumista pohjan ja vesimassan välillä. Kivien kemiallinen koostumus ei vaikuta merkittävästi

kiven pinnalla kasvavaan piilevyhteisöön, sillä kivistä ei vapaudu ravinteita (Eloranta et al. 2007). Kiven koko puolestaan vaikuttaa merkittävästi piilevyhteisöön. Isot, paikallaan pysyvät kivet ovat vakaampi kasvualusta piileville verrattuna epävakaisiin pienempiin kiviin, joiden pyöriessä niiden päällä olevat piilevät saattavat irrota herkästi (Blinn et al. 2007). Piilevät asettuvat helposti pinnoille, jotka ovat huokoisia ja epätasaisia. Geologiset ominaisuudet, kuten kallioperän kalkkipitoiset alueet ja emäksisten liuskeiden alueet vaikuttavat vesistöiden laatuun ja näin ollen myös piileväkoostumukseen (Eloranta et al. 2007).

3.4 Esiintyminen ja levinneisyys

Piilevien lajirikkauteen virtaavissa vesissä vaikuttavat paikalliset tekijät, kuten elinympäristön olosuhteet, vedenlaaduntekijät sekä valuma-alueen ominaispiirteet (Passy 2009). Koska piilevien on ajateltu olevan leviämisen suhteen kosmopoliitteja, ovat tutkimukset ovat keskittyneet enimmäkseen paikallisten ympäristötekijöiden vaikutuksiin laaja-alaisen biogeografiset tekijöiden vaikutusten jäädessä vähemmälle. Nykyään on vallalla kaksi eri näkökanta piilevien leviämisen suhteen (Soininen 2007). Toisen näkökannan mukaan piilevät ovat kosmopoliitteja ja esiintyvät kaikkialla mm. pienen koon, tehokkaan leviämisen ja nopean lisääntymisen takia (Finlay 2002, Finlay ja Fenchel 2004). Tämä edellyttäisi, että piilevyhteisöjä säätelisivät pääasiassa paikalliset ympäristöolosuhteet ja lajit esiintyisivät siellä, missä niiden ympäristövaatimukset täyttyisivät (Soininen 2007, Vanormelingen et al. 2008). Toisen näkökannan mukaan taas piilevien leviäminen olisi rajoittunutta ja siihen vaikuttaisivat sekä tämänhetkiset paikalliset ympäristöolosuhteet sekä alueelliset, laaja-alaiset ilmastolliset, historialliset, biogeografiset sekä evolutiiviset tekijät (Soininen 2007, Verleyen et al. 2009, Heino et al. 2010). Useiden tutkimusten mukaan monet piilevät ovat kosmopoliitteja ja menestyvät alueilla, joilla paikalliset ympäristöolosuhteet ovat suotuisat, mutta ovat kuitenkin levinneisyysrajoitteisia (Vanormelingen et al. 2008, Jüttner et al. 2010).

Piilevien leviäminen alueelta toiselle tapahtuu pääasiassa virtaavan veden mukana. Lisäksi piilevät voivat levitä ilmateitse esimerkiksi lintujen ja hyönteisten mukana sekä ilman välityksellä. Ilmateitse leviäminen voi olla piileville kuitenkin riski, sillä etenkin pitkällä välimatkoilla on vaarana kuivuminen. Piilevien sietokyky

kulkeutumisolosuhteille sekä välimatkojen pituus vaikuttavat siihen, miten tehokkaasti piilevät pystyvät leviämään eri alueille (Kristiansen 1996).

3.5 Piilevät vedenlaadun indikaattoreina

EU:n vesipuitedirektiivin astuttua voimaan vuonna 2000 on biologisten menetelmien avulla tapahtuva virtavesien seuranta tullut yhä käytetyimmäksi. Suomessa piilevämenetelmää pyritään käyttämään etenkin jokien ekologisen tilan luokittelussa (Eloranta et al. 2007). Piilevämenetelmä tukee hyvin vesistöjen fysikaalis-kemiallista seurantaan, sillä biologisten seurantamenetelmien avulla on mahdollista saada monipuolisempaa tietoa vesistöjen tilasta (Niemelä 2007). Lisäksi piileväyhteisöt eivät vaihteile niin herkästi kuin fysikaalis-kemialliset laatuominaisuudet virtaaman vaihdellessa, mutta kuvastavat tarpeeksi herkästi veden laadun muutoksia (Eloranta 2004a).

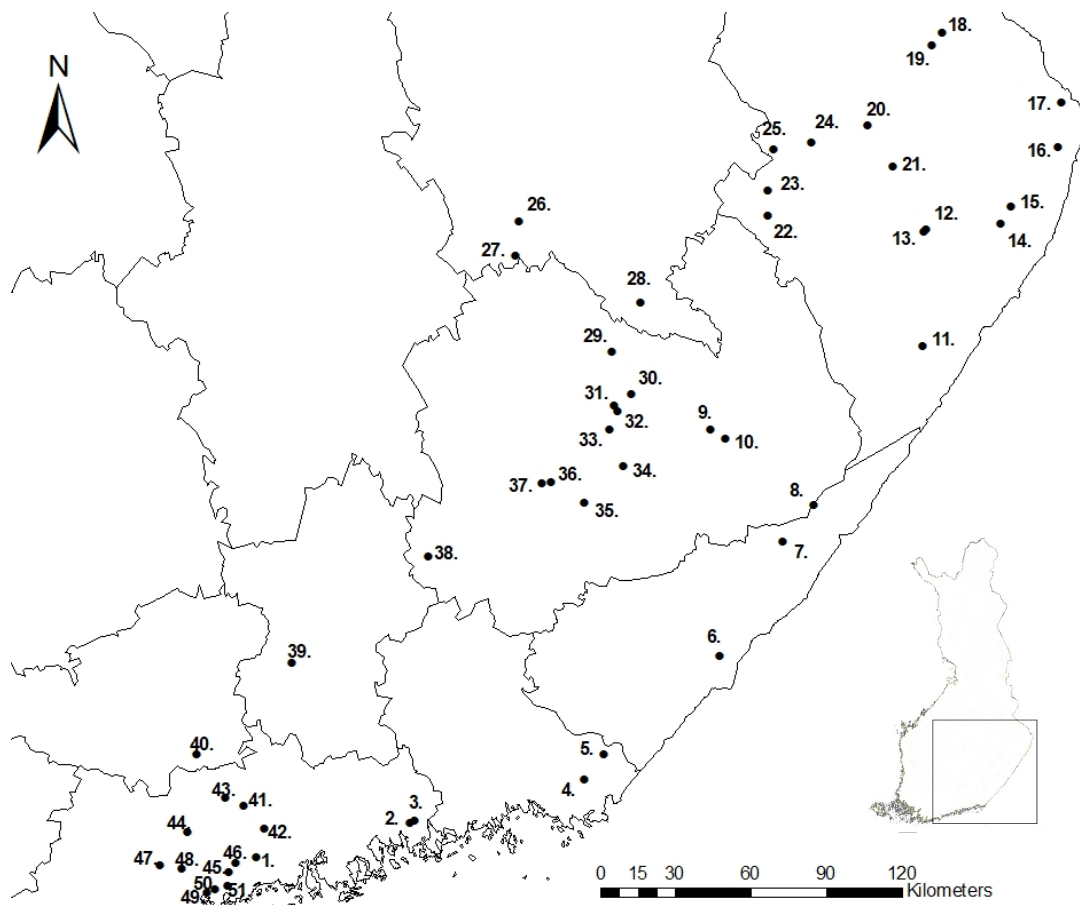
Piilevien käyttö vesistöjen biologisena seurantamenetelmänä perustuu niiden kapeisiin ja rajoittuneisiin optimiolosuhteisiin, jolloin tietyn lajin esiintyminen kuvastaa vallitsevia ympäristöolosuhteita. Ne myös reagoivat nopeasti vedenlaadun muutoksiin. Piilevistä on tehty tutkimuksia useita vuosikymmeniä, joten lajien ekologia on hyvin tunnettu. Koska vesistöissä olevien piileväsolujen määrä on usein hyvin korkea, saadaan lajistosta ja lajisuhteista edustava kuvaus jo pienelläkin näytemäärällä nopeasti (Dixit et al. 1992, Stevenson 1996, Soininen 2007, Eloranta et al. 2007).

Piilevien tunnistus ja luokittelu perustuvat pääasiassa kuoren morfologiaan (Round et al. 1990). Tunnistaminen on mahdollista tehdä sekä laji- että sukutasolla piilevien ainutlaatuisen kuoren rakenteen perusteella, jossa tunnuspiirteinä ovat mm. kuoren symmetriasuhteet, muoto, koko sekä huokoset (Round et al. 1990, Stevenson 1996). Kuoren ulkoisiin piirteisiin perustuva tunnistus saattaa kuitenkin aiheuttaa haasteita, sillä lajit ovat mikroskooppisen pieniä ja eri lajeja voi olla hankala erottaa toisistaan (Stevenson 1996). Piilevien elinkierron aikana tapahtuva lajikoon muutos vaikeuttaa tunnistamista, sillä solukoon pienentyessä minimiin, lajikoko poikkeaa huomattavasti maksimikoosta (Vanormelingen et al. 2008). Lisäksi eri ympäristöolosuhteet saattavat muuttaa saman lajin valvan rakennetta toisistaan poikkeaviksi (Cox et al. 2011). On huomattu, että esimerkiksi lämpötilan muutos saattaa aiheuttaa kuoren rakenteeseen muutoksia (Vanormelingen et al. 2008).

4. TUTKIMUSAINEISTO JA –MENETELMÄT

4.1 Tutkimusalue

Tutkittavat purot sijaitsivat Kaakkois- ja Itä-Suomessa (näytepisteet 4 – 38) sekä Etelä-Suomessa (näytepisteet 39–51) (Kuva 2). Purot valittiin niin, että ne edustivat monipuolisesti erilaisia valuma-alueita niin geologialtaan kuin maankäytöltään. Jokaisella purolla tuli olla oma valuma-alueensa ja valuma-alueiden oli sijaittava Suomen rajojen sisäpuolella. Aineisto kerättiin yhdessä Helsingin yliopiston tutkijatohtori Virpi Pajusen sekä maisteriopiskelija Natalia Ervingin kanssa. Osassa tutkimuspisteistä (purot 1-10, 16, 26-27, 31-33, 37, 40-41, 43-45, 47-49 ja 51) oli tehty aikaisempia tutkimuksia.



Kuva 2. Näytepisteiden sijainnit kartalla (Maanmittauslaitos 2015)

4.2 Näytteenotto

Piilevä- ja vesinäytteitä kerättiin yhteensä 51 eri purosta 8.7-15.7.2017 ja 16.8-17.8.2017 välisenä aikana. Piilevänäytteenotossa noudatettiin Elorannan et al. (2007) menetelmäohjeita, jotka perustuvat standardiin SFS-EN 13946. Piilevänäytteet otettiin virtaavien purojen kivipinnoilta. Kustakin purosta valittiin 10 kiveä noin 10-40 cm syvyydeltä puron eri osista. Kivien yläpinnan puoliskolta harjattiin hammasharjalla näyte sabluunan läpi, jossa oli 5 cm x 5 cm kokoinen reikä. Hammasharjaa huuhdeltiin jokaisen harjauksen jälkeen purovedellä täytetyssä astiassa ja lopuksi astian sisältö kaadettiin 50 ml näytteenottopulloon, johon oli lisätty etanolia näytteen kestävöimiseksi. Näytteenoton jälkeen hammasharja sekä näytteenottoastia puhdistettiin purovedellä.

Puroista kerättiin vesinäytteitä isotooppien, hivenaineiden sekä metallien kemiallisia analysointeja varten (Kuva 3 A). Isotooppinäytteet kerättiin 50 ml pulloihin sekä hivenainenäytteet 500 ml pulloihin. Näytepullot huuhdeltiin purovedellä muutamaan otteeseen ennen vesinäytteen ottamista. Metalli- ja silikaattianalyysyä varten purovesi kerättiin ruiskuihin, joista vettä suodatettiin 0,45 µm membraanisuodattimen läpi 10 ml koeputkiin, joissa oli valmiina väkevä typpihappo vesinäytteen kestävöimiseksi. Näytteet nimettiin purojen mukaan sekä numeroitiin juoksevilla numerolla. Näytepullot säilöttiin pimeältä suojassa sekä viileässä kylmäkalleilla varustetuissa kylmälaukuissa näytteidenhakureissujen ajan. Muun ajan näytteitä säilytettiin kylmiössä.



Kuva 3. A) Vesinäytteenottoa tutkimuspurossa numero 31. B) YSI-mittarilla (pH, sähkönjohtavuus, lämpötila) mittausta tutkimuspurossa numero 21.

Purovedestä mitattiin paikan päällä YSI-monimuuttujamittarilla veden lämpötila, paine, liuenneen hapen osuus, liuenneen hapen pitoisuus, sähkönjohtokyky sekä pH (Kuva 2 B). Lisäksi näytteenottopaikoilta mitattiin virtausnopeus siivikon avulla, uoman leveys ja syvyys, sedimentin lämpötila, kasvillisuuden varjostus sekä pohjan keskimääräinen raekokojakauma. Raekokojakauma saatiin arvioimalla noin metrin kokoiselta alueelta eri pohja-ainesten prosentuaalinen osuus. Puroista kerättiin myös sedimenttinäyte laboratoriossa suoritettavaa raekokoanalyysiä varten. Näytepaikoilla täytettiin maastohavaintolomake jokaisesta purosta. Siihen kirjattiin näytteenottopaikan nimi, näytteenottopäivämäärä sekä GPS-laitteella otetut koordinaatit. Lisäksi lomakkeelle kirjattiin mittaustulokset sekä huomiot säätilasta, veden laadusta, ranta- ja vesikasvillisuudesta sekä ihmisvaikutuksista. Näytteenottopaikoista otettiin valokuvat mahdollista myöhempää ympäristöntarkastelua varten.

4.3 Piilevänäytteiden valmistus

Piilevänäytteistä valmistettiin preparaattit Helsingin yliopiston laboratoriossa 18.12.-22.12.2017 välisenä aikana standardin SFS-EN 13946 mukaisesti (Eloranta et al 2007). Preparaattien valmistus aloitettiin pipetoimalla 5 ml ravisteltua piilevävesinäytettä näyteputkiin, jotka olivat numeroitu ja nimetty. Pipetoinnin jälkeen näytteiden annettiin seisoa puoli tuntia, jolloin aines laskeutui. Näyteputkiin pipetoitiin orgaanista ainesta hajottavaa vetyperoksidia (30 %) noin 1 ml. Näyteputket asetettiin koeputkitelineissä kattiloihin, joissa niitä keitettiin vesihauteessa (Kuva 4 A). Keittämisen aikana vetyperoksidia lisättiin näytteisiin noin 1 ml neljä kertaa puolen tunnin välein. Keittämisen aikana näytteiden orgaaninen aines paloi pois, jolloin jäljelle jäivät piilevien kuoret. Kun näytteisiin ei enää muodostunut vaahtoa kiehumisen aikana, nostettiin näytteet pois kattilasta ja jätettiin jäähtymään ja laskeutumaan yön yli.

Piilevät pestiin vetyperoksidista pipetoimalla näyteputkista kirkas neste pois niin, ettei pohjalla olevat piilevät sekoittuneet tai imeytyneet pipettiin. Poistetun nesteen tilalle pipetoitiin tislattua vettä ja näytteet asetettiin sentrifugiin, jossa näytteet pyörivät 1250 kierrosta minuutissa 20 minuutin ajan, jolloin piilevät painuivat näyteputkien pohjalle. Sentrifugin pyörittyä poistettiin koeputkista jälleen kirkas neste korvaten se tislatulla vedellä. Tätä toistettiin, kunnes näytteet olivat olleet sentrifugissa yhteensä kolme kertaa niin, että näytteiden neste korvattiin uudella tislatulla vedellä. Tällä tavoin

varmistettiin, että vetyperoksidi saatiin poistettua mahdollisimman hyvin. Näytteet laitettiin vielä neljännen kerran sentrifugiin, mutta tämän jälkeen nestettä ei enää vaihdettu.



Kuva 4. A) Näytteiden keittämistä vesihauteessa. B) Näytteiden kuumentamista keittolevyllä toluenin poistamiseksi.

Piilevänäytteet, joissa oli riittävästi saostumaa näyteputkien pohjalla, sekoitettiin ja näytettä pipetoitiin seoksesta muutama tippa numeroiduille peitinlasille. Näytteissä, joissa saostumaa oli vähän, tehtiin pipetointi suoraan saostumasta. Näytteiden annettiin kuivua peitinlasien päällä yön yli. Kuivuneiden näytteiden päälle lisättiin tippa piileväpetaushartsia Naphraxia. Tämän jälkeen peitinlasien päälle laitettiin preparaattilasi, joka oli lämmitetty kuumaksi keittolevyllä. Preparaattilasia ja siinä kiinni olevaa peitinlasia kuumennettiin keittolevyllä niin kauan, kunnes hartsin liuotin tolueni oli kiehunut pois Naphraxista (Kuva 4 B). Näytteiden paistamisen jälkeen valmiiden preparaattien annettiin jäähtyä. Jokaisesta näytteestä tehtiin rinnakkaispreparaatit, jotta soluja olisi riittävä määrä piilevätunnistusta varten.

4.4 Piilevien laskenta

Piilevien laskenta tapahtui touko-elokuun 2018 aikana. Piilevien tunnistus tapahtui valomikroskoopin avulla 100-kertaisella suurennuksella. Jokaisesta näytteestä tunnistettiin ja laskettiin 500 valvaa järjestyksessä niin, että jokainen mikroskoopin näkökentässä oleva piilevä tunnistettiin järjestyksessä, kunnes 500 solua oli laskettuna. Tunnistus tehtiin lajitasolla, mutta mikäli lajitason tunnistaminen oli mahdotonta, tehtiin tunnistus sukutasolla. Yksilöt, jotka ovat tunnistettu sukutasolla, on merkitty tunnuksella sp. Piilevät, joista oli hajonnut yli 50 prosenttia, tai jotka olivat roskien

peitossa, jätettiin tunnistamatta. Tunnistamisessa käytettiin Krammer & Lange-Bertalotin (1986-1991) tunnistusoppaita.

4.5 Kemiaalliset analyysit

Vesinäytteitä analysoitiin Helsingin yliopiston laboratoriossa syksyn 2017 ja talven 2018 aikana. Liuonneiden kationien (Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}) määrittäminen tehtiin standardin SFS-EN ISO 14911 (2000) ja liuenneiden anionien (F^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) standardin SFS-EN ISO 10304-1 mukaisesti. Kokonaistyyppi ja -fosfori määriteltiin standardien SFS-EN ISO 11905-1 (1998) ja SFS-EN 1189 (1997) mukaisesti. Alkaliniteetin määrittäminen tapahtui standardin SFS-EN ISO 9963-1 (1996) mukaisesti ja metallien määrittäminen ICP-MS:n avulla standardin ISO 17294-2 (2003) mukaisesti.

4.6 Raekokojakauma

Jokaiselta näytepisteeltä kerättiin puron pohjalta sedimenttinäytettä noin puolen kilon verran minigrip –pussiin. Kuivaseulonnat suoritettiin näistä kuudelle näytteelle, jotka olivat valittu niin, että ne edustivat kutakin pohjan kivien keskimääräiseen kokoon perustuvaa luokitusta (hiekkä, sora, pikkukivi, mukulakivi, lohkare, kallio). Kuivaseulonta suoritettiin Helsingin yliopiston sedimenttilaboratoriossa aikavälillä 21.3-29.3.2018. Seulottavat näytteet kuivattiin kuivauskaapissa 105 °C:n lämpötilassa vuorokauden ajan. Kuivunut näyte punnittiin 0,1 gramman tarkkuudella ja kaadettiin seulasarjaan, jossa seulojen silmäkoot olivat 31; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 ja <0,063 mm. Seulasarja asetettiin tärytimeen, joka tärytti materiaalia 15-20 minuuttia 1,5.2,5 mm amplitudilla. Jokaiselle seulalle jäänyt ainesmäärä punnittiin 0,1 gramman tarkkuudella. Rakeisuusjakauma määritettiin syöttämällä kuivaseulontatulokset excel-pohjaiseen ohjelmaan, joka laskee läpäisyprosentit sekä piirsi niihin perustuvat käyrät. Näin maalajille saatiin d50-menetelmän mukainen nimi (Kaakinen et al. 2009).

4.7 Valuma-alueen määrittely

Näytepisteiden valuma-alueet määriteltiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) laatimalla VALUE-valuma-alueen rajaustyökalulla. VALUE-työkalulla rajatut valuma-

alueet siirrettiin ArcGIS-paikkatieto-ohjelmaan, jolla määritettiin valuma-alueen maaperän maalajien prosentuaaliset osuudet sekä onko valuma-alueella Suomen ympäristökeskuksen luokittelemia pohjavesialueita. Maaperäaineisto, joka tuotiin ArcGIS-ohjelmaan GTK:n Hakku-palvelusta, oli määritetty joko 1:20 000 tai 1:200 000 mittakaavan karttoihin. Maaperä pyrittiin määrittämään 1:20 000 alueen kartalla, mutta niillä alueilla, joilla sitä ei ollut saatavilla, tehtiin määrittäminen 1:200 000 kartalla. Alueilla, joilla oli sekä 1:20 000 ja 1:200 000 kartat, poistettiin 200k kohdat, jotta maaperän prosentuaaliset osuudet saatiin oikein.

Valuma-alueilla sijaitsevat pohjavesialueet määriteltiin ArcGIS-ohjelmalla SYKE:n paikkatietoaineistoista saadun pohjavesialueaineiston avulla. Aineisto sisälsi kartoitetut ja luokitellut pohjavesialueet 1:20 000 –mittakaavaisella kartalla.

4.8 Tilastolliset menetelmät

Tiedot purojen paikallista ympäristömuuttujista sekä valuma-alueenmuuttujista koottiin ja esikäsiteltiin Microsoft Officen Excel-tilastokalkulaattorilla taulukoksi niin, että näyttepisteet kirjattiin riveille ja vesikemian muuttujat omiin sarakkeisiinsa. Taulukko sisälsi tiedot sekä näytteenottopisteellä että laboratorioissa suoritetuista mittauksista. Koska osa kemiallisten muuttujien (Ni, Se, Sn, Pb, Bi) arvoista jäivät alle määrittämissä, käytettiin niissä lukuarvona määrittämissä puolikasta, jotta luvut olisivat testattavia numeerisissa muodoissaan. Fysikaalis-kemiallisia ympäristömuuttujia analysoitiin SPSS-tietokantaohjelmalla, jolla muuttujista saatiin tehtyä jana-laatikodiagrammeja (boxplot), parittaisia epäparametrisia testejä sekä Spearmanin korrelaatioanalyysijä.

Myös piileväaineisto esikäsiteltiin Excel-tilastokalkulaattorilla, johon tiedot purojen piilevistä koottiin taulukoksi niin, että purot sijaitsivat riveillä ja lajit sarakkeissa. Näin taulukkoon saatiin kirjattua jokaisen näytteenottopaikan kokonaislajimäärä sekä laskettujen solujen kokonaismäärä. Lisäksi näytteistä laskettiin taksonien absoluuttisten lukumäärien lisäksi kunkin taksonin suhteellinen prosenttiosuus, jotta tutkimuspisteitä voitiin vertailla toisiinsa. Piileväaineisto analysoitiin R-tilasto-ohjelmalla (R Core Team 2018).

Aineisto analysoitiin tarkastelemalla keskinäisiä korrelaatioita Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla, joka soveltuu normaalijakaumasta poikkeavan aineiston kuvaamiseen (Ranta et al. 2012). Aineistojen analysointiin käytettiin monimuuttujamenetelmiä, joita käytetään tarkastelussa aineiston ollessa moniulotteista (Oksanen 2004). Monimuuttujamenetelmien avulla on mahdollista pelkistää laajan aineiston sisältämä informaatio. Menetelmä mahdollistaa tutkia eri havaintoyksiköstä mitattujen useiden muuttujien välisiä riippuvuusrakenteita (Ranta et al. 2012). Tutkimuksessa käytettiin monimuuttujamenetelmistä pääkomponenttianalyysia, redundanssianalyysia, hajonnan ositusta ja similariteettianalyysia.

4.8.1 Pääkomponenttianalyysi

Pääkomponenttianalyysi (PCA = Principal components analysis) on epäsuora ordinaatioanalyysi, joka soveltuu ympäristömuuttujien analysointiin. Ordinaatioanalyysi pyrkii esittämään moniulotteisen aineiston kaksiulotteisena kuvana (Oksanen 2004). PCA:n avulla voidaan muodostaa alkuperäisistä muuttujista uusia muuttujia. Uudet muuttujat voivat yhdistää useamman alkuperäisen muuttujan sisältämää tietoa. PCA avulla voidaan poistaa toisistaan riippumattomia pääkomponentteja ja osoittaa, mitkä muuttujat vaihtelevat aineistossa systemaattisesti havaintojen välillä (Ranta et al. 2012). Pääkomponenttianalyysissä näytteet järjestetään kaksiulotteiseen tilaan niin, että lajien sijaintipisteiden tai ympäristömuuttujien vektorien etäisyydet toisistaan riippuvat näytteiden samankaltaisuudesta. Näin ollen mitä lähempänä toisiaan näytepisteet sijaitsevat vektorilla, sitä samankaltaisempia ne ovat ympäristöoloiltaan (ter Braak ja Prentice 1988). Pääkomponenttianalyysissä näytepisteet pyrkivät erottumaan toisistaan mahdollisimman hyvin, jolloin informatiivisten muuttujien akselit näkyvät mahdollisimman pitkinä ja epäinformatiiviset lyhyempinä. Näin PCA pystyy antamaan suuremman painon informatiivisille muuttujille kuin epäinformatiivisille (Oksanen 2004).

4.8.2 Redundanssianalyysi

Redundanssianalyysi tehtiin aineistolle R-ohjelman vegan-paketilla. Redundanssianalyysin (RDA = Redundancy Analysis) avulla voidaan selvittää lajistovaihtelun ja ympäristömuuttujien suhdetta. RDA on suora ordinaatiomenetelmä,

jossa lajistodata suhteutetaan ympäristömuuttujiin. Jotta aineisto vastaisi paremmin normaalisti jakautunutta aineistoa, tehtiin ympäristöaineistolle (pois lukien pH ja isotoopit) kymmenkantainen logaritmimuunnos ($\log_{10}(x+1)$). Lajiineistolle tehtiin Hellinger muunnos, joka muutti aineiston sopivaksi RDA-analyysille R-tilasto-ohjelmassa (Legendre et al. 2001)

Redundanssianalyysin selittävien muuttujien määrä tulisi pitää rajallisena ja valita analyysiin vain tärkeimmät muuttujat testauksen perusteella (Legendre et al. 2010). Redundanssianalyysin avulla saadaan aineistosta ordinaatiokuvaaja, josta ilmenee tietoa ympäristön ja lajiston välisistä suhteista. Kuvaajassa lajisto esitetään pisteillä ja ympäristömuuttujat nuolina. Ympäristömuuttujia kuvaavien nuolien pituus kuvastaa muuttujan merkittävyyttä lajiston vaihtelussa. Pisimmät nuolet vaikuttavat lyhyempiä nuolia enemmän lajiston vaihteluun. Kuvaajan ordinaatioakselien risteämiskodassa sijaitsee 0-piste, jonka avulla lajiston pisteiden sijainti suhteessa toisiin pisteisiin voidaan määritellä. Mitä lähempänä toisiaan lajit sijaitsevat kuvaajassa, sitä samankaltaisempia ovat olosuhteet, joissa ne viihtyvät (ter Baak et al. 1994).

4.8.3 Hajonnan ositus

Hajonnan osituksella on mahdollista selvittää muuttujaryhmien yksittäiset vaikutukset sekä niiden väliset yhteisvaikutukset. Lisäksi hajonnan osituksella voidaan saada selville vastemuuttujien selittämättömäksi jäävän hajonnan määrä. Menetelmä antaa kokonaiskuvan siitä, kuinka hyvin muuttujat selittävät vastemuuttujaa (Borcard et al. 1992). Hajonnan ositus on käytetty menetelmä yhteisöjen koostumuksen ja lajirunsauden välisten säätelevien prosessien analysoinnissa (Logue et al. 2011). Hajonnan ositusanalyysi tehtiin R-ohjelman vegan-paketilla.

4.8.4 Similariteettianalyysi

Similariteettianalyysillä (analysis of similarities, ANOSIM) testattiin pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden lajistojen eroavaisuuksia. Similariteettianalyysillä on mahdollista vertailla eri ryhmien välisiä ja sisäisiä eroja toisiinsa. Analyysin tunnuslukuna on R, joka perustuu ryhmien sisäisten ja ryhmien välisten erojen vertailuihin. R-luvun arvot vaihtelevat välillä -1 ja 1 ja mikäli

luku on lähellä nollaa, ei lajistojen välillä ole tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia. Mitä suurempi R-luku on, sitä merkittävimpiä erot ovat lajistojen välillä (Clarke 1993).

5.TULOKSET

5.1 Selittävät muuttujat

Tutkimuksen selittävinä muuttujina olivat vesikemiamuuttujat, pohja- ja pintaveden välinen vuorovaikutus sekä valuma-alueen maaperä. Kaikki mitatut ympäristömuuttujien arvot ovat liitteessä 1. Tutkittavien purojen ympäristömuuttujat vaihtelivat huomattavasti. Veden pH-arvot vaihtelivat heikosti happamasta (5,3) heikosti emäksiseen (8,5) (Taulukko 1). Keskimäärin purovedet olivat pH-arvoltaan neutraaleita. Purot olivat ravinnepitoisuuksiltaan keskimäärin reheviä (typpi ka. 0,67, fosfori ka. 48,62 mg/l), mutta yksittäiset purot vaihtelivat karuista erittäin reheviin. Osa puroista oli lähes kokonaan kasvillisuuden varjostamia, osa täysin aukealla paikalla. Rautapitoisuudet vaihtelivat 37,73 ja 3101,38 ppb välillä, mangaanipitoisuudet 6,08 ja 151,77 ppb välillä ja sinkkipitoisuudet 1,83 ja 28,42 ppb välillä. Purojen keskimääräinen sähkönjohtokyky oli 105,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja silikaattipitoisuus 3,92 ppm. Veden lämpötilat vaihtelivat 9,2 ja 22,6 °C välillä.

Taulukko 1. Ympäristömuuttujista määritellyt minimi-, maksimi- ja mediaaniarvot sekä keskiarvo ja keskihajonta.

Ympäristömuuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta	Mediaani
pH	5,27	8,46	7,33	0,67	7,44
Sähkönjohtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	15,40	580,80	105,26	125,41	52,00
d-excess	-4,30	10,27	4,18	3,37	4,44
Silikaatti (ppm)	0,44	9,81	3,92	2,16	3,59
Typpi (mg/l)	0,26	2,07	0,67	0,38	0,52
Fosfori (mg/l)	10,41	237	48,62	46,34	33,62
O18	-12,76	-7,2	-10,48	1,23	-10,65
H2	-91,81	-61,90	-79,66	7,69	-79,94
Fe (ppb)	37,73	3101,38	750,56	544,50	637,09
Mn (ppb)	6,08	151,77	33,90	27,83	26,74
Zn (ppb)	1,83	28,42	4,69	5,02	3,14
Veden lämpötila °C	9,20	22,60	16,08	3,13	16,10
Varjostus %	0,00	97,45	45,09	30,21	48,00
Väri mg/l	2,50	459,09	98,48	82,30	75,00

Muuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla. Mikäli muuttujien arvo on +/- 0,7, pidetään muuttujien välistä korrelaatiota voimakkaana. Useiden muuttujien väliset korrelaatiot olivat vahvoja (Taulukko 2). Sähkönjohtavuus, silikaatti, d-excess, pH, typpi ja nitraatti fosfori korreloivat muiden vesikemiamuuttujien kanssa. Hapen ja vedyn isotoopit korreloivat positiivisesti toistensa kanssa ($r_s = 0,96$, $p < 0,001$). Myös muut pintavesi-pohjavesi –vuorovaikutusta ilmentävät vesikemiamuuttujien välillä oli havaittavissa vahva korrelaatio. Silikaatti korreloi tilastollisesti merkitsevästi useiden vesikemiamuuttujien kanssa. D-excess ja silikaatti korreloivat voimakkaasti negatiivisesti ($r_s = -0,82$, $p < 0,001$) samoin kuin d-excess ja veden lämpötila ($r_s = -0,70$, $p < 0,001$). Myös d-excessin ja hapen isotooppien välillä oli korrelaatiota ($r_s = -0,61$, $p < 0,001$).

Taulukko 2. Ympäristömuuttujien keskinäiset Spearmanin korrelaatiokertoimet (r_s) ja tilastolliset merkitysevyydet p-arvojen mukaisesti: ei merkitsevä (-), $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***) . Taulukkoon korostettuna korkeat korrelaatiokertoimet (yli 0,7 tai alle -0,7).

	d-excess	Si	Veden lämp.	Sähkönjoht.	pH	Typpi	Fosfori	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Fe	Mn	Zn	Väri	Varjostus	Savi/siltti	Hiekka/sora	Moreeni
d-excess		***	***	*	**	*	-	***	**	-	-	-	-	-	-	-	*
Si	0,82		***	***	***	***	***	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-
Veden lämp.	-0,70	-0,65		*	**	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sähkönjoht.	0,29	0,61	-0,30		***	***	***	**	***	-	**	-	*	-	***	-	-
pH	0,37	0,52	-0,42	0,62		*	*	-	*	-	-	-	***	-	***	-	***
Typpi	0,30	0,55	-0,26	0,70	0,33		***	-	-	**	**	**	-	-	**	-	-
Fosfori	0,24	0,44	-0,22	0,57	0,28	0,83		-	*	***	**	-	-	-	***	-	-
$\delta^{18}\text{O}$	-0,61	-0,30	0,36	0,37	0,31	0,23	0,25		***	-	-	-	*	-	*	-	-
$\delta^2\text{H}$	-0,40	-0,11	0,21	0,50	0,28	0,35	0,35	0,96		-	-	-	*	-	***	-	-
Fe	0,15	0,17	-0,25	0,06	-0,19	0,43	0,52	-0,11	-0,09		**	*	***	-	-	-	-
Mn	-0,01	0,15	-0,11	0,39	0,18	0,39	0,43	0,16	0,17	0,43		**	-	-	-	-	-
Zn	0,12	0,24	-0,02	0,26	-0,01	0,38	0,27	0,10	0,14	0,33	0,36		-	-	-	-	*
Väri	0,12	0,04	-0,11	-0,29	-0,47	0,18	0,21	-0,31	-0,32	0,77	0,09	0,18		-	-	**	**
Varjostus	0,01	0,08	-0,18	-0,11	-0,08	-0,07	-0,04	0,05	0,04	0,18	-0,02	0,08	0,18		-	-	-
Savi/siltti	0,19	0,30	-0,16	0,63	0,53	0,43	0,45	0,34	0,45	-0,02	0,23	0,00	-0,27	0,00		-	***
Hiekka/sora	0,26	0,17	-0,18	0,20	0,23	-0,15	-0,12	-0,20	-0,20	-0,24	-0,03	-0,11	-0,39	-0,10	0,23		***
Moreeni	-0,32	-0,21	0,21	-0,18	-0,54	0,02	-0,14	0,07	-0,02	0,22	0,12	0,39	0,36	0,06	-0,49	-0,45	

Valuma-alueiden maaperä vaihteli savi-siltistä kallioon (Taulukko 3). Valtaosa puroista sijaitsi valuma-alueeltaan moreenipitoisella maaperällä (yht. 35 % valuma-alueiden maaperästä). Savi- ja silttipitoisia maalajeja oli yhteensä 16 % ja hiekka- ja sorapitoisia maalajeja yhteensä 7 % valuma-alueiden maaperästä.

Taulukko 3. Valuma-alueiden määperäkoostumus prosentuaalisesti sekä valuma-alueilla sijaitsevat pohjavesialueet. Näytepisteiden 8, 26, 28, 38, 50 ja 51 valuma-alueita ei ollut mahdollista määrittää VALUE-valuma-alueen rajaustyökalulla, joten maaperä- ja pohjavesialuetietoja ei kyseisiltä näytepisteiltä ole saatavissa.

	Savi/siltti %	Hiekka/sora %	Moreeni %	Kallio %	Pohjavesialue valuma- alueella
1.	28	0	12	50	ei
2.	55	3	22	15	on
3.	3	0	40	24	ei
4.	24	2	8	48	on
5.	18	2	13	53	ei
6.	55	34	0	8	on
7.	0	30	11	36	on
8.	-	-	-	-	-
9.	0	0	61	26	ei
10.	0	0	12	67	ei
11.	5	30	43	0	ei
12.	0	2	38	39	ei
13.	0	13	46	22	ei
14.	0	0	56	12	ei
15.	0	0	53	7	on
16.	0	4	23	7	on
17.	0	1	46	1	ei
18.	0	4	26	39	ei
19.	0	8	5	66	on
20.	0	18	20	39	on
21.	0	7	31	50	on
22.	0	0	76	0	ei
23.	8	20	37	0	on
24.	4	2	48	1	on
25.	0	0	64	5	ei
26.	-	-	-	-	-
27.	2	1	49	28	on
28.	-	-	-	-	-
29.	3	3	52	7	on
30.	2	2	60	5	ei
31.	0	0	68	2	ei
32.	0	0	61	0	ei
33.	0	9	60	3	on
34.	0	4	63	9	on
35.	0	2	75	6	ei
36.	3	0	81	1	ei
37.	6	7	55	14	on
38.	-	-	-	-	-
39.	50	29	18	3	on
40.	48	9	26	2	on
41.	46	10	18	10	on
42.	61	2	10	25	on
43.	53	9	21	12	on
44.	54	11	9	18	on
45.	51	10	3	18	on
46.	56	11	12	13	on
47.	7	0	11	65	on
48.	31	1	11	46	on
49.	28	0	18	19	on
50.	-	-	-	-	-
51.	-	-	-	-	-

Tutkimuspisteistä 27 puron valuma-alueella sijaitsi pohjavesialueita (Taulukko 3). Kuuden tutkimuspuron (8, 26, 28, 38, 50 ja 51) valuma-alueiden maaperäkoostumusta sekä mahdollisia valuma-alueen pohjavesialueita ei pystytty määrittämään, sillä VALUE-valuma-alueen rajaustyökalulla ei ollut mahdollista rajata kyseisten purojen valuma-alueita.

5.2 Vastemuuttajat

Tutkimuksen vastemuuttujina olivat piilevien lajikoostumus. Soluja laskettiin jokaisesta näytteestä keskimäärin 504 kappaletta. Näytteistä tunnistettiin yhteensä 299 piilevälajia, jotka kuuluivat 28 eri sukuun. Yksi taksoni pystyttiin tunnistamaan vain sukutasolle asti. Pienimmillään lajirunsaus oli 21 lajia ja suurimmillaan 69 lajia. Keskimääräinen lajimäärä kullakin havaintopaikalla oli 41 lajia. Eniten eri lajeja esiintyi suvuilla *Navicula* (61), *Achnanthes* (49), *Eunotia* (35), *Nitzschia* (31), *Fragilaria* (26), *Cymbella* (21), *Pinnularia* (15) ja *Gomphonema* (14).

Yksilömäärinä laskettuna runsaimpana esiintyi *Achnanthes*-suku, johon kuului 43,6 % lasketuista soluista. *Achnanthes*-suvun esiintymisrunsaus johtuu *Achnanthes minutissiman* (28,3 % kaikista soluista) runsaslukuisesta esiintymisestä. Lisäksi *Achnanthes oblongella* (3,9 %), *Achnanthes subatomoides* (2,4 %), *Achnanthes lanceolata* (2,2 %) sekä *Achnanthes linearis* (1,8 %) olivat yleisiä lajeja. Toiseksi yleisin suku oli *Eunotia* (10,8 %), josta yleisimpiä lajeja olivat *Eunotia bilunaris* (2,9 %) ja *Eunotia meisteri* (2,8 %). Muita yleisiä sukuja olivat *Navicula* (8,4 %), *Fragilaria* (6,7 %), *Gomphonema* (6,1%) ja *Tabellaria* (5,3 %). *Tabellaria*-suvun yleisyys johtuu yksinomaan *Tabellaria flocculosa* runsaasta esiintymisestä (5,3 % soluista). Myös *Fragilaria*-suvun runsaus selittyy pitkälti *Fragilaria capucina* yleisyydellä (5,2 % soluista). *Eunotia*-, *Navicula*- ja *Gomphonema*-suvuilla ei ollut yksittäisiä valtalajeja.

Piilevälajeista vain *Achnanthes minutissima* esiintyi kaikissa näytepaikoissa (Taulukko 4). Kymmenessä näytepaikassa *Achnanthes minutissima* kattoi yli puolet purojen kokonaislajistosta. Enimmillään *A. minutissima* oli 84,9 % koko puron lajistosta. Lisäksi yleisiä lajeja eri puroissa olivat muun muassa *Fragilaria capucina* (46 näytepaikassa), *Gomphonema angustatum* (44 näytepaikassa), *Tabellaria flocculosa* (43

näytepaikassa) sekä *Navicula cryptocephala* (39 näytepaikassa). Useat lajit olivat harvalukuisia, sillä 56,9 %:lla lajeista kaikkien näytepaikkojen yhteenlaskettu yksilömäärä oli alle kymmenen. 25,4 % lajeista esiintyi vain yhdessä näytteessä.

Taulukko 4. Purojen 29 yleisimmin havaittua taksonia, jotka esiintyivät vähintään 22 % tutkimuspuroista. Esitettynä kuinka suuressa osassa puroja taksoni esiintyi sekä taksonien suhteellisen esiintymisrunsauden keskiarvot ja vaihteluvälit.

Taksoni	Purot (%)	Ka. (%)	Vaihteluväli (%)
<i>Achnanthes minutissima</i>	100	28,3	0,2-84,9
<i>Fragilaria capucina</i>	90	5,2	0,2-33,9
<i>Gomphonema angustatum</i>	86	3,3	0,2-23,5
<i>Tabellaria flocculosa</i>	84	5,2	0,2-50,3
<i>Navicula cryptocephala</i>	76	1,5	0,2-17,7
<i>Eunotia bilunaris</i>	75	2,9	0,2-29,5
<i>Gomphonema parvulum</i>	75	1,0	0,2-8,0
<i>Frustulia rhomboides</i>	73	3,4	0,2-20,4
<i>Achnanthes subatomoides</i>	71	2,4	0,2-29,6
<i>Nitzschia palea</i>	71	1,0	0,2-6,3
<i>Cymbella silesiaca</i>	71	0,7	0,2-8,2
<i>Achnanthes linearis</i>	69	1,8	0,2-12,4
<i>Pinnularia subcapitata</i>	69	0,8	0,2-9,1
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i>	65	1,3	0,2-9,0
<i>Achnanthes oblongella</i>	59	3,9	0,2-60,9
<i>Eunotia meisteri</i>	55	2,8	0,2-23,7
<i>Achnanthes helvetica</i>	55	1,5	0,2-17,2
<i>Eunotia minor</i>	55	0,9	0,2-9,6
<i>Eunotia tenella</i>	55	0,8	0,2-8,0
<i>Eunotia implicata</i>	55	0,6	0,2-6,0
<i>Eunotia incisa</i>	45	0,8	0,2-23,4
<i>Nitzschia dissipata</i>	39	0,6	0,2-9,6
<i>Cocconeis placentula</i>	35	3,5	0,2-59,5
<i>Achnanthes lanceolata</i>	33	2,2	0,2-19,5
<i>Navicula minima</i>	33	1,1	0,2-11,2
<i>Anomoeoneis vitrea</i>	31	0,8	0,2-19,3
<i>Navicula lanceolata</i>	25	1,6	0,2-36,2
<i>Anomoeoneis brachysira</i>	22	0,6	0,2-15,2
<i>Navicula gregaria</i>	22	0,6	0,2-6,3

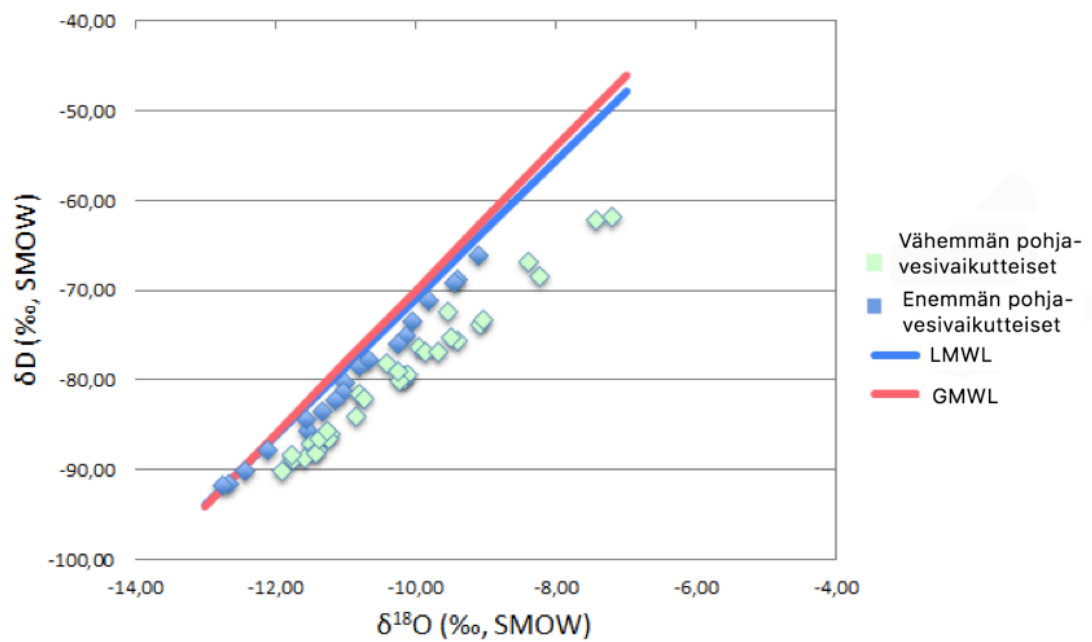
6. TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Tutkimuspurojen pohjavesi-pintavesi vuorovaikutus

Pohjaveden purkautumista vesistöön arvioitiin veden hapen- ja vedyn isotooppikoostumuksien, silikaattipitoisuuden, d-excess-arvon, sedimentin ja veden lämpötilan sekä maalajikoostumuksen perusteella. Parittaisen epäparametrisen testin perusteella tilastollisesti merkittävät ($p = <0,05$) korrelaatiot pohjavesivaikutusta ilmentävillä muuttujilla sekä pohjavesivaikutteisilla näytepaikoilla olivat d-excess-arvolla, silikaatilla, veden lämpötilalla ja sähkönjohtavuudella. Spearmanin korrelaatiotestin mukaan korreloivia muuttujia olivat silikaatti ja d-excess ($r_s = 0,82$, $p < 0,001$), veden lämpötila ja d-excess ($r_s = 0,70$, $p < 0,001$), veden lämpötila ja silikaatti ($r_s = -0,65$, $p < 0,001$), sähkönjohtavuus ja silikaatti ($r_s = 0,61$, $p < 0,001$), $\delta^{18}\text{O}$ ja d-excess ($r_s = -0,61$, $p < 0,001$) sekä $\delta^2\text{H}$ ja sähkönjohtavuus ($r_s = 0,50$, $p < 0,001$).

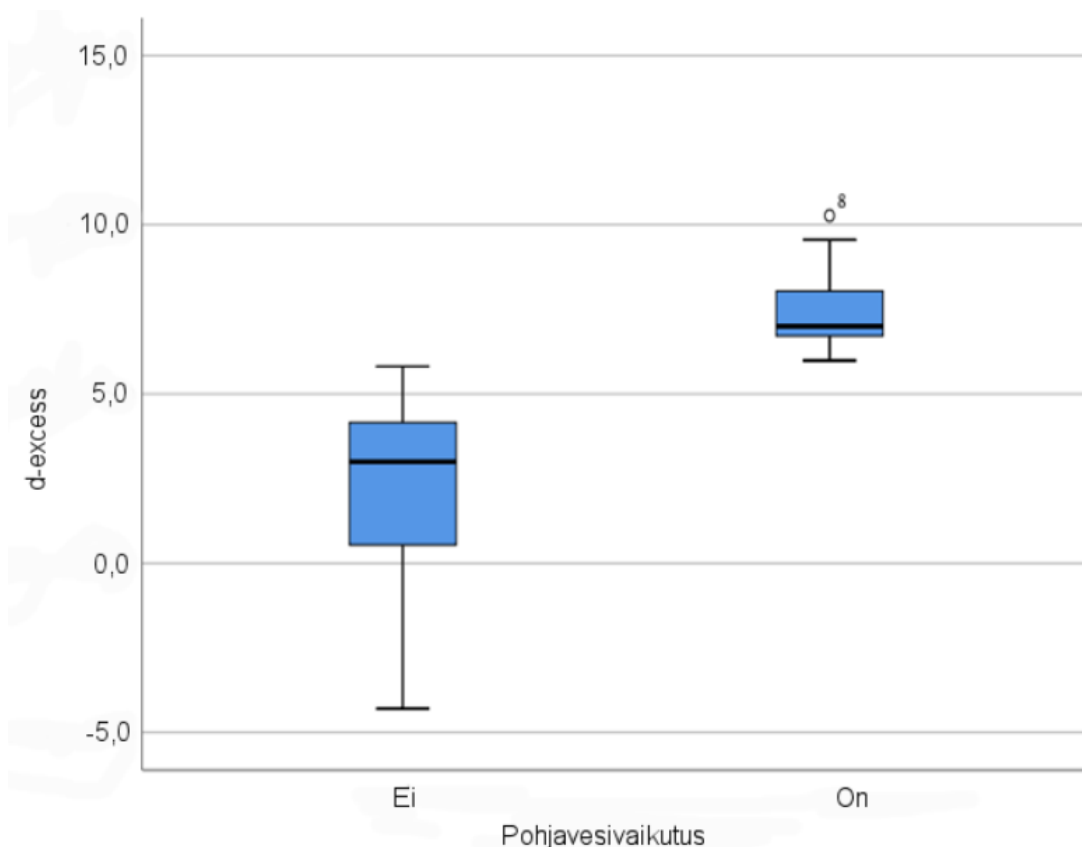
Purovesien $\delta^2\text{H}$ -arvot vaihtelivat välillä $-61,9$ ja $-91,81$ ‰ keskimääräisen $\delta^2\text{H}$ -arvon ollessa $-79,66$ ‰. $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat välillä $-12,76$ ja $-7,20$ ‰ keskimääräisen $\delta^{18}\text{O}$ -arvon ollessa $-10,48$ ‰. Isotooppisuhteiden perusteella globaalille meteoristen vesien suoralle asettuivat näytepisteet 1, 5, 6, 7, 8, 26, 28, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 49 ja 51 (Kuva 5). Suoralta poikkeavat näytepisteet ovat haihdunnan takia vähemmän negatiivisia kuin suoralla tai sen läheisyydessä olevat näytepisteet, ja näin ollen kuvastavat $\delta^2\text{H}$ ja $\delta^{18}\text{O}$ -arvoiltaan enemmän pintavesiä.

Globaalille meteoristen vesien suoralle sijoittuneissa näytepisteissä vesi on eniten pohjaveden kaltaista. $\delta^{18}\text{O}$ -arvot vaihtelivat näissä pisteissä $-12,76$ ja $-9,11$ välillä ja $\delta^2\text{H}$ -arvot $-91,81$ ja $-66,19$ välillä. Näytepaikkojen 3, 29, 30, 31, 34, 37, 41, 47, 48 purovedet olivat eniten haihtuneita ja näiden näytepisteiden arvot poikkesivat selvimmin GMWL ja LMWL -suorista.



Kuva 5. Globaalille (GMWL) ja lokaalille (LMWL) meteoristen vesien suorille sijoittuneet näytepisteet.

Veden haihtuvuutta kuvaava Deuteriumin ylijäämä, eli d-excess-arvo on pohjavesissä yleensä noin 10 ± 1 ‰ (Kortelainen 2007). Näytepaikkojen d-excess-arvot vaihtelivat -4,30 ja 10,27 välillä ja näytepaikkojen keskimääräinen d-excess-arvo oli 4,18. GMWL-suoralle tai sen läheisyyteen sijoittuneista näytepisteissä d-excess-arvot olivat keskimäärin 7,5 ‰, kun GMWL-suoralle osumattomien näytepisteiden arvot olivat keskimäärin 2,2 ‰, joten oletetuilla pohjaveden purkautumispisteillä d-excess-arvot olivat huomattavasti suurempia. Suurimmillaan d-excess-arvot olivat näytepisteissä 6 (9,6 ‰), 7 (9,3 ‰), 8 (10,3 ‰), 38 (8,1 ‰) ja 39 (8,9 ‰), joissa arvot olivat lähellä kymmentä promillea. GMWL-suoralle sijoittuneista puroista alimmillaan d-excess-arvot olivat tutkimuspuroissa 44 ja 51, joissa arvot olivat 6,0 ‰. Boxplot-analyysin perusteella d-excess-arvot poikkesivat huomattavasti pohjavesivaikutteisissa ja ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa (Kuva 6). Mediaaniarvo oli pohjavesivaikutteisilla puroilla selvästi suurempi verrattaessa ei-pohjavesivaikutteisiin puroihin. Myös suurimman ja pienemmän d-excess-arvon vaihteluväli oli pienempi pohjavesivaikutteisissa näytepisteissä.

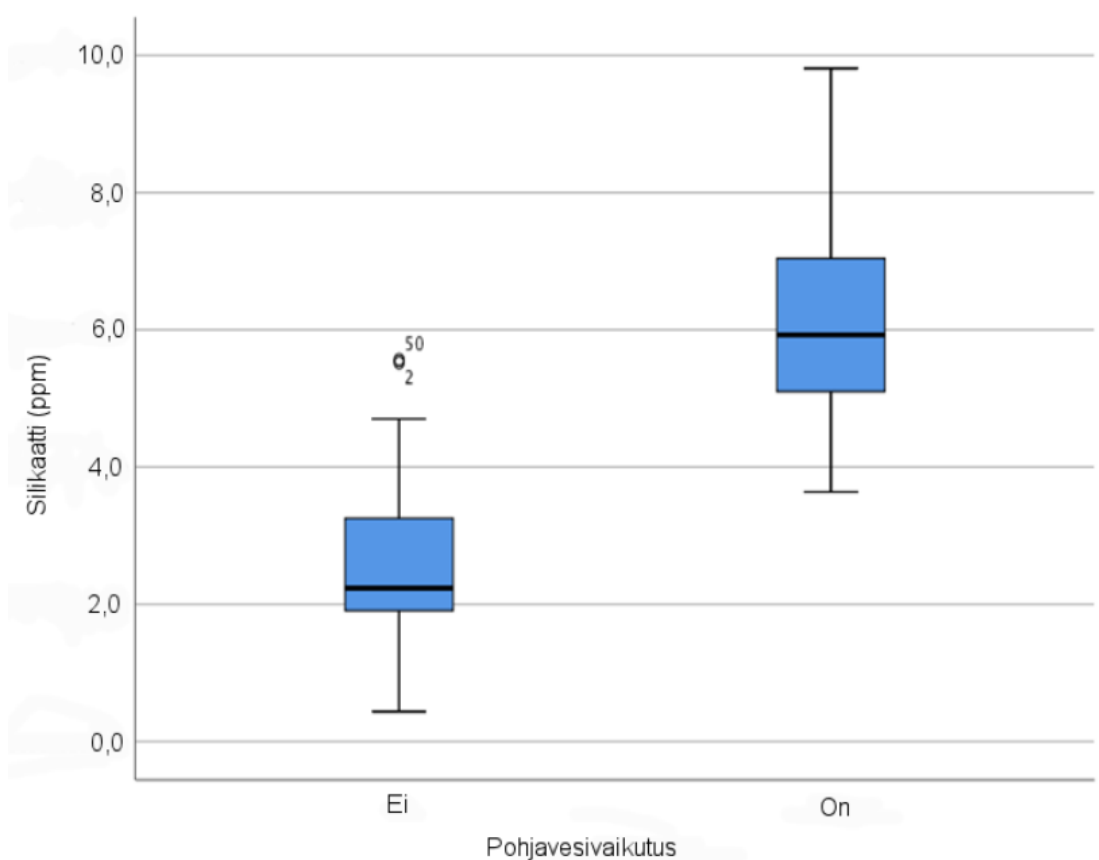


Kuva 6. Pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden d-excess-arvot.

Tutkimuspurojen silikaattipitoisuudet vaihtelivat välillä 0,44 – 9,81 mg/l (med. 3,59 mg/l; ka. 3,93 mg/l). Mitä suurempi veden silikaattipitoisuus on, sitä kauemmin vesi on kulkenut maaperässä. Suomessa purovesien tyypilliset silikaattipitoisuudet ovat 1,7 - 14,6 mg/l (Lahermo et al. 1996), joten näytepisteiden silikaattipitoisuudet olivat keskimääräistä pienempiä. Silikaattiarvoja verratessa isotooppiarvoihin voidaan havaita näytepisteiden kesken vaihtelua. Isotooppiarvojensa perusteella GMWL-suoralle asettuneiden purojen silikaattipitoisuudet (med. 5,93 mg/l; ka. 6,08 mg/l) olivat keskimääräistä suurempia lukuun ottamatta näytepaikkoja 5 ja 28, joiden silikaattipitoisuudet olivat 3,65 ja 3,64 mg/l. Puroilla, jotka eivät osuneet GMWL-suoralle, oli silikaatin keskimääräinen pitoisuus 2,64 mg/l.

Raution et al. 2013 tekemän tutkimuksen mukaan silikaattipitoisuuden keskiarvo jokivesille, jotka olivat pohjavesivaikutuksen alueella, oli 3,21 mg/l. Vesistöille, jotka eivät sijainneet pohjaveden purkautumisalueella tai joiden lähettyvillä ei ollut merkittäviä pohjavesiesiintymiä, oli silikaattipitoisuuden keskiarvo 2,29 mg/l. Tämän tutkimuksen keskimääräiset silikaattipitoisuudet ovat näin ollen suurempia kuin Raution

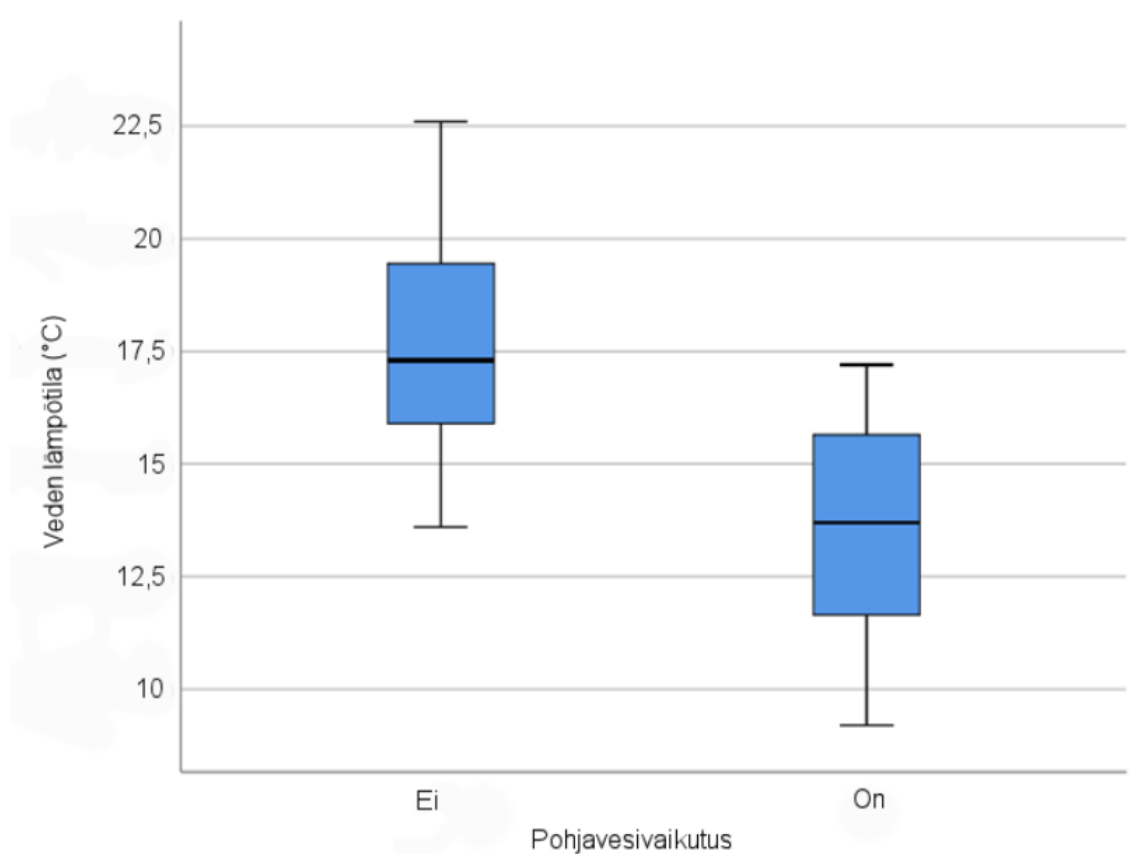
et al. tekemässä tutkimuksessa. Suurimmat silikaattipitoisuudet olivat pohjavesivaikutteisilla näytepisteillä 6 (8,16 mg/l) ja 51 (9,81 mg/l). Näissä näytepisteeseen suotautunut pohjavesi on ehtinyt kulkea jo niin kauan maaperässä, että puroveden silikaattipitoisuus on ehtinyt kasvaa suureksi. Silikaattipitoisuuksien erot pohjavesivaikutteisilla ja ei-pohjavesivaikutteisilla näytepisteillä oli selkeä (Kuva 7). Pohjavesivaikutteisissa näytepisteissä silikaatin mediaaniarvo (5,93 mg/l) oli huomattavan korkea verrattuna ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden mediaaniarvoon (2,24 mg/l).



Kuva 7. Pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden silikaattipitoisuudet.

Pohjaveden purkautumista purovesiin voidaan vahvistaa myös termisin menetelmin. Pohjavesien lämpötilat ovat usein pintavesiä alhaisempia. Etelä-Suomessa luonnollisten pohjavesien lämpötila on noin + 5,5 – + 7,0 °C alentuen pohjoisempaan mentäessä ja ollen Oulun korkeudella noin + 4 – + 4,5 °C (Lahermo et al. 1999). Tämän tutkimuksen näytepisteiden keskimääräinen lämpötila oli 16,1°C. Oletetuilla pohjaveden purkautumispaikoilla sedimentin sekä veden lämpötilat olivat yleisesti ottaen pienempiä kuin ilman lämpötila (Kuva 8). Pohjavesiesiintymän vaikutus veden lämpötilaan näkyi

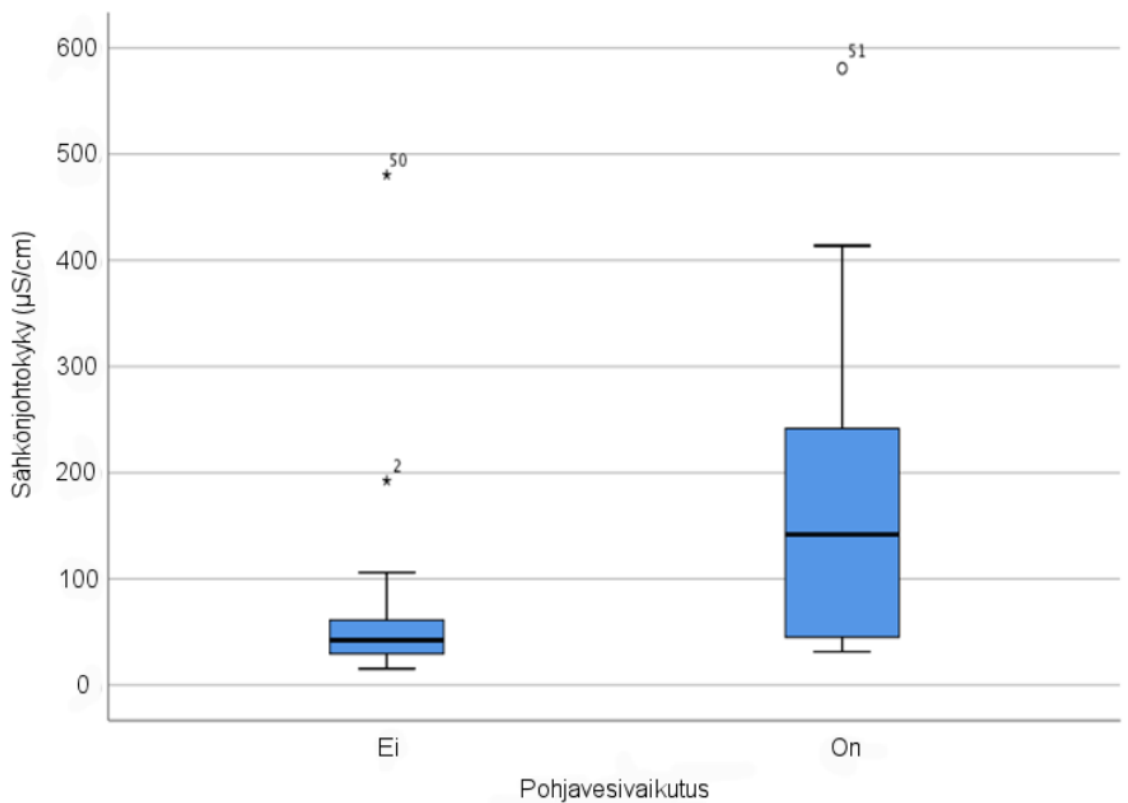
etenkin näytepaikoissa 1, 6, 7, 8, 28, 38, 39 ja 42, joissa sedimentin ja veden lämpötilat olivat huomattavasti alhaisemmat kuin ilman lämpötila. Suurimmillaan lämpötilaerot olivat näytepaikassa 1, jossa ilman lämpötilan ollessa 20,3 °C, oli sedimentin lämpötila 12,0 °C ja veden lämpötila 11,9 °C. Myös näytepaikassa 39, jossa ilman lämpötila oli 20,0 °C ja sedimentin ja veden lämpötilat 9,9 °C ja 10,3 °C, olivat eroavaisuudet suuret. Oletetuissa pohjaveden purkautumispaikoissa keskimääräinen sedimentin lämpötila oli 12,9 °C ja puroveden 13,5 °C, kun puolestaan pisteissä, jossa pohjavettä ei todennäköisesti purkaudu, oli sedimentin keskimääräinen lämpötila 16,3 °C ja puroveden 17,6 °C.



Kuva 8. Pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden vesien lämpötilaerot.

Sähkönjohtavuuden on huomattu olevan hyvä indikaattori pohjavesivaikutusten arvioinnissa, sillä sähkönjohtavuus on pohjavesissä useimmiten huomattavasti korkeampi kuin muissa vesistöissä (Korkka-Niemi et al. 2011). Pohjavedet sisältävät yleensä enemmän liuenneita aineita, sillä ne virtaavat syvemmillä ja reagoivat pidemmän aikaa maankamaran kanssa (Lahermo et al. 1990). Tutkimuspurojen keskimääräinen sähkönjohtavuus oli 10,5 mS/m, joka noudattaa Lahermon et al. 1996

valtakunnallisen purotutkimuksen keskimääräisiä sähkönjohtavuusarvoja (2 – 22 mS/m). Sähkönjohtokykyarvot vaihtelivat tutkimuspuroissa huomattavasti ja jakatutuivat joko tasaisen mataliin arvoihin tai korkeisiin huippuihin. Pohjavesivaikutteisilla näytepisteillä purovesien sähkönjohtavuus oli alhaisimmillaan 3,1 mS/m (näytepiste 28) ja korkeimmillaan 58,1 mS/m (näytepiste 51) keskiarvon ollessa 17,6 mS/m. Näytepisteillä, joilla pohjavesivuorovaikutusta ei ollut, vaihteli sähkönjohtavuus laajasti välillä 1,5 – 48,0 mS/m. Kuitenkin näytepisteillä, joilla pohjavesivuorovaikutusta ei ollut, oli näytepisteiden sähkönjohtavuuden vaihteluväli huomattavasti pienempi kuin pohjavesivaikutteisilla näytepisteillä (Kuva 9). Myös mediaaniarvo oli pohjavesivaikutteisilla puroilla selvästi suurempi (14,2 mS/m) kuin ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa (4,2 mS/m).



Kuva 9. Pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden vesien sähkönjohtavuuden erot.

Kaikkien näytepisteiden valuma-alueista 27 sijaitsi pohjavesialueella ja pohjavesivaikutteisista puroista näytepisteiden 6, 7, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46 ja 49 valuma-alueet sijaitsivat pohjavesialueella. Valuma-alueella tapahtuva pohjaveden purkautuminen purovesiin selittää näytepisteiden sijoittumisen meteoristen ja lokaalien vesien suoralle isotooppikoostumuksen perusteella pohjaveden ollessa haihtumatonta.

Pohjavesivaikutteisten näytepisteiden 8, 26, 28, 38 ja 51 valuma-alueita ei ollut mahdollista määrittää, joten kyseisten näytepisteiden valuma-alueilta mahdollisia pohjavesialueita ei pystytty selvittämään. Näytepisteiden 1, 5, 35 ja 36 valuma-alueilla ei ollut tunnistettuja pohjavesialuita, mutta kyseisillä alueilla saattaa esiintyä pieniä tai määrittelemättömiä pohjavesiesiintymiä.

Valuma-alueiden maaperä vaihteli savi-siltistä kallioon. Pääasiassa valuma-alueiden maaperä koostui moreenista (34,9 %) ja 14 näytepisteellä moreenia oli yli puolet maaperästä. Karkearakeisilla moreenimailla pohjavedeksi saattaa suotautua yli puolet sadannasta (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjavesivaikutteisilla tutkimuspisteillä moreenin esiintyminen oli vähäistä lukuun ottamatta näytepisteitä 35 ja 36, joissa valuma-alueet olivat suurimmaksi osaksi moreenin peittämiä. Hyvin vettä johtavat sora ja hiekka olivat valtalajeina näytepisteen 6 valuma-alueella. Suurimmat hiekka- ja sorapitoisuudet olivat pohjavesivaikutteisista näytepisteillä 6 (yht. 34 %), 7 (yht. 30%), ja 39 (yht. 29 %). Pääasiassa savesta ja siltistä koostuvia valuma-alueita oli Etelä-Suomessa. Savi- ja siltimuodostumat rajoittavat pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusta, sillä savikoilla purkautuvan pohjaveden määrä on vähäisen vedenjohtavuuden vuoksi hyvin vähäistä (Korkka-Niemi 1996, Salonen et al. 2002). Näytepisteillä 6, 39, 42, 43, 44, 45 ja 46, jossa pohjaveden purkautumista oletetaan tapahtuvan, on yli puolet valuma-alueen maaperästä savi- ja siltipeitteisiä. Vaikka hienorakeisilla mailla pohjaveden muodostuminen on vähäistä, voi silttiin ja saveen tapahtua jonkin verran imeytymistä (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Valuma-alueilla esiintyi runsaasti myös kalliota ja etenkin Etelä-Suomen näytepisteillä kallio oli yleinen pintalaji. Myös kallioperät voivat sisältää pohjavesialueita, sillä kallioperässä olevat avoimet tilat voivat olla osittain tai kokonaan veden kyllästämiä (Salonen et al. 2002).

Pohjavesivaikutteisissa puroissa silikaattipitoisuudet, d-excess-arvot, hapen ja veden isotoopit, veden lämpötila sekä sähkönjohtavuuden arvot poikkesivat ei-pohjavesivaikutteisista puroista. D-excess-arvot olivat pohjaveden kaltaiset 19 näytepisteessä (Taulukko 5). Silikaattipitoisuus oli 11 ja sähkönjohtavuus yhdeksässä pohjavesivaikutteisessa näytepisteessä keskimääräistä suurempi. Purovesien lämpötila puolestaan oli kymmenessä pohjavesivaikutteisessa näytepisteessä huomattavasti ei-pohjavesivaikutteisia näytepisteitä alempana. Hapen ja vedyn isotooppien perusteella kaikki pohjavesivaikutteiset näytepisteet olivat vähemmän haihtuneita kuin ei-

pohjavesivaikutteiset purovedet. Pohja-pintavesivuorovaikutusta ilmentävien muuttujien perusteella tutkimuspuroista 19 oli pohjavesivaikutteisia (Taulukko 6).

Taulukko 5. Pohjavesivaikutteiset purot. Taulukkoon merkitty pohjavesivaikutteiset purot sekä ne muuttujat (X), joiden arvot poikkesivat keskimääräisistä näytepisteiden arvoista ja kuvastivat pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusta. (Määrittelemättömät valuma-alueet merkitty (-) – merkillä.)

	d-excess	Si	Veden lämp.	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Sähköjoht.	Pv. valuma-alueella	Savi/siltti	Hiekka/sora	Moreeni
1	X	X	X	X	X	X		X		
5	X			X	X			X		
6	X	X	X	X	X	X	X	X		
7	X	X	X	X	X		X		X	
8	X	X	X	X	X		-		X	
26	X		X	X	X		-			X
28	X		X	X	X		-			X
35	X			X	X					X
36	X	X		X	X	X				X
38	X	X	X	X	X		-			X
39	X		X	X	X		X	X		
40	X	X	X	X	X	X	X	X		
42	X	X	X	X	X		X	X		
43	X			X	X	X	X	X		
44	X	X		X	X	X	X	X		
45	X	X		X	X	X	X	X		
46	X			X	X		X	X		
49	X			X	X	X	X	X		
51	X	X		X	X	X	-			X

Taulukko 6. Pohjavesi-pintavesi-vuorovaikusta ilmentävien muuttujien perusteella määritellyt pohjavesivaikutteiset näytepisteet.

Näytepiste	Pohjavesivaikutus	Ei pohjavesivaikutusta	Näytepiste	Pohjavesivaikutus	Ei pohjavesivaikutusta
1.	X		27.		X
2.		X	28.	X	
3.		X	29.		X
4.		X	30.		X
5.	X		31.		X
6.	X		32.		X
7.	X		33.		X
8.	X		34.		X
9.		X	35.	X	
10.		X	36.	X	
11.		X	37.		X
12.		X	38.	X	
13.		X	39.	X	
14.		X	40.	X	
15.		X	41.		X
16.		X	42.	X	
17.		X	43.	X	
18.		X	44.	X	
19.		X	45.	X	
20.		X	46.	X	
21.		X	47.		X
22.		X	48.		X
23.		X	49.	X	
24.		X	50.		X
25.		X	51.	X	
26.	X				

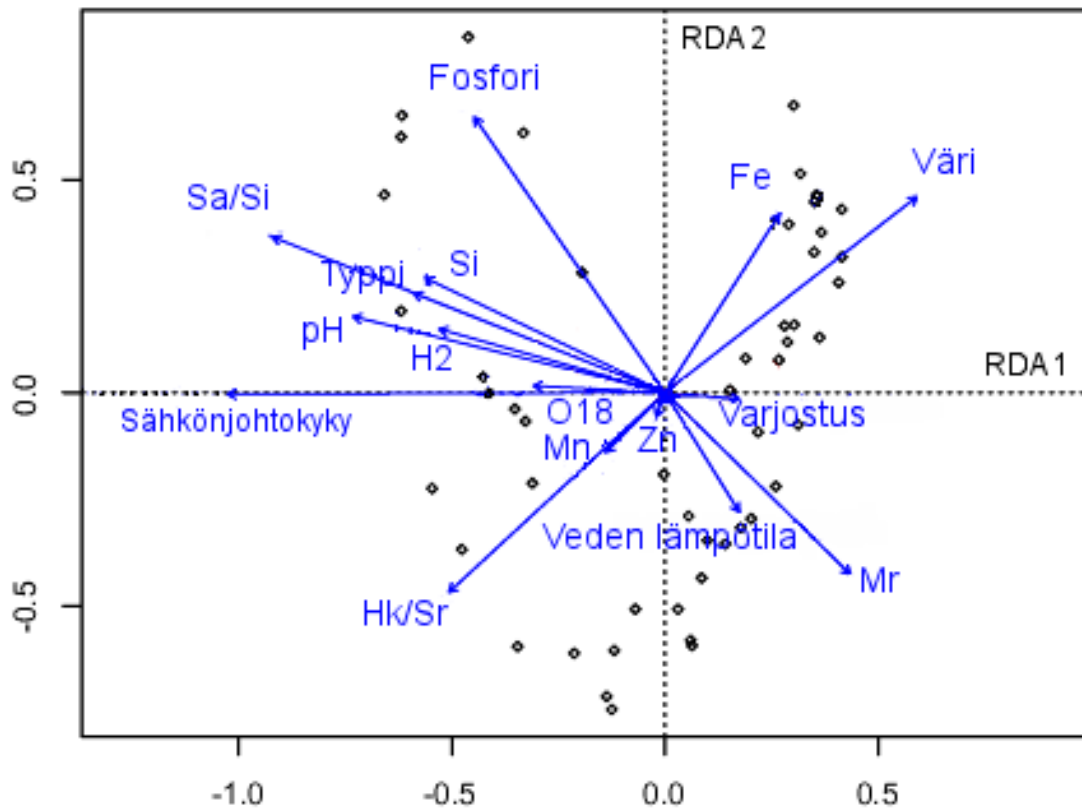
6.2 Piilevälajistoon vaikuttavat muuttujat

Lajistoa selittävinä veden laadun muuttujina käytettiin tässä tutkimuksessa sellaisia muuttujia, jotka ovat aikaisemmissa tutkimuksissa todettu merkittäviksi piilevän lajiston säätelijöiksi, kuten veden väriä, valoisuutta, typpeä, fosforia ja pH:ta (Eloranta ja Soininen 2002, Wunsam et al. 2002). Tutkimuksissa (mm. Hirst et al. 2002, Passy 2008) myös mangaanin, raudan ja sinkin on huomattu vaikuttavan piileväkoostumukseen, joten myös ne otettiin tähän tutkimukseen selittäviksi muuttujiksi. Näiden lisäksi selittävinä muuttujina käytettiin pohja-pintavesivuorovaikutuksesta riippuvaisia veden lämpötilaa, silikaattia, sähkönjohtavuutta, hapen ja veden isotooppeja sekä valuma-alueen maaperäkoostumuksia.

6.2.1 Redundanssianalyysi

Vedenlaatumuuttujilla ja maaperämuuttujilla voitiin selittää redundanssianalyysin mukaan 49,9 % lajiston vaihtelusta. Selitysaste oli melko tyypillinen verrattuna muiden tutkimusten redundanssianalyysihin. Esimerkiksi Teittinen et al. 2015 tekemässä tutkimuksessa selitysaste oli 49,2 %. Vertailua eri tutkimuksiin hankaloittaa tutkimusten vaihtelevat muuttujat. Redundanssianalyysin avulla tutkittiin piilevälajiston vaihteluun vaikuttavia tekijöitä. Koska selittävät muuttujat eivät olleet normaalisti jakautuneita, tehtiin niille logaritminen muunnos tilastollisia analyysejä varten lukuun ottamatta pH:ta sekä vedyn ja hapen isotooppeja. Logaritminen muunnos tasapainotti jakaumia useiden muuttujien kohdalla, jolloin jakaumat vastasivat paremmin normaalijakaumaa. Redundanssianalyysin perusteella merkittävin yhteisökoostumusta säätelevä muuttuja oli sähkönjohtokyky (kuva 10). Ensimmäinen akseli selitti 21 % ja toinen akseli 8 % lajiston vaihtelusta. Redundanssianalyysin ensimmäisellä akselilla eniten piileväkoostumukseen vaikuttavia tekijöitä olivat sähkönjohtokyky, maaperän savi-siltti ja pH. Toisella akselilla merkittävimpiä olivat fosfori (0,56), hiekka-sora pitoinen maaperä (-0,41), veden väri (0,40) ja moreeni (-0,37) (Taulukko 7). Sähkönjohtokyky vaikutti lajistoon suhteellisesti voimakkaimmin ensimmäisen akselin myötäisesti (-0,89). Sähkönjohtokyvyn kanssa samansuuntaisesti vaikuttivat savi-siltti pitoinen maaperä, joka oli analyysin suhteellisesti toiseksi voimakkain muuttuja (-0,80) sekä pH, joka oli suhteellisesti kolmanneksi voimakkain muuttuja (-0,64). Veden väri ja rauta

vaikuttivat ensimmäisellä akselilla vastakkaiseen suuntaan kuin sähkönjohtokyky ja veden pH.) Tilastollisesti merkittävimpiä muuttujia redundanssianalyysin perusteella olivat silikaatti, veden väri, valuma-alueen savi-silttilajitteinen maaperä, sähkönjohtokyky sekä typpi ja moreeni.



Kuva 10. Redundanssianalyysin ensimmäisen ja toisen akselin tulos kuvaajana. Selittävien muuttujien vaikutukset kuvattu vektoreilla. Pisteet esittävät tutkimuspuroja.

Taulukko 7. Redundanssianalyysin avulla saatu ympäristö- ja valuma-alueiden vaikutus lajiston vaihteluun sekä niiden tilastollinen merkitsevyys. Selittävien muuttajien tilastollinen merkitsevyys määriteltä perumutaatiotestillä (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

	Akseli 1	Akseli 2	p-arvo	
Ominaisarvo	0,112	0,042		
Selitetty vaihtelu	0,214	0,080		
Pistearvot				
Silikaatti	-0,487	0,233	0,001	***
Typpi	-0,511	0,202	0,028	*
Fosfori	-0,388	0,560	0,086	
Veden lämpötila	0,151	-0,243	0,059	
Sähkönjohtokyky	-0,889	-0,003	0,005	**
Sinkki	-0,018	-0,049	0,465	
Rauta	0,232	0,363	0,188	
Mangaani	-0,120	-0,121	0,679	
O18	0,267	0,014	0,148	
H2	-0,459	0,129	0,319	
Varjostus	0,151	-0,013	0,300	
Väri	0,512	0,398	0,001	***
Savi-siltti	-0,798	0,316	0,001	***
Hiekka-sora	-0,439	-0,406	0,212	
Moreeni	0,376	-0,369	0,042	*
pH	-0,634	0,154	0,572	

Redundanssianalyysikuvaajan mukaan sähkönjohtokyky oli merkittävin piilevien yhteisökoostumukseen vaikuttava tekijä. Sähkönjohtavuuden on havaittu myös muissa tutkimuksissa olevan tärkeä piilevyhteisöjen koostumukseen vaikuttava tekijä (Soininen 2011, Soininen et al. 2004). Sähkönjohtavuuden lisäksi pH ja veden väri olivat redundanssianalyysin perusteella tärkeitä muuttujia. Sähkönjohtavuus sekä pH ovat usein riippuvaisia toisistaan ja myös tässä tutkimuksessa sähkönjohtavuus ja pH korreloivat keskenään. Ravinteista fosforilla oli merkittävin vaikutus piilevien yhteisökoostumukseen. Vastaavanlaisia tuloksia on saatu Soinisen 2011 ja Soininen et al. 2004 tehdyissä tutkimuksissa. Myös valuma-alueen maaperällä oli tärkeä yhteisökoostumukseen vaikuttava tekijä. Maalajitteista savi- ja silttipitoinen maaperä vaikuttivat voimakkaimmin yhteisökoostumukseen. Myös hiekka- ja sorapitoiset sekä moreenipitoiset maaperät olivat melko merkittäviä yhteisökoostumuksen kannalta. Kuitenkin maaperän vaikutus piilevyhteisöihin on epäsuora, sillä maaperä vaikuttaa veden kemialliseen koostumukseen ja säätelee sitä kautta piileväkoostumusta. Esimerkiksi savipitoisilla mailla sähkönjohtavuus on usein korkea (Lahermo et al. 1990).

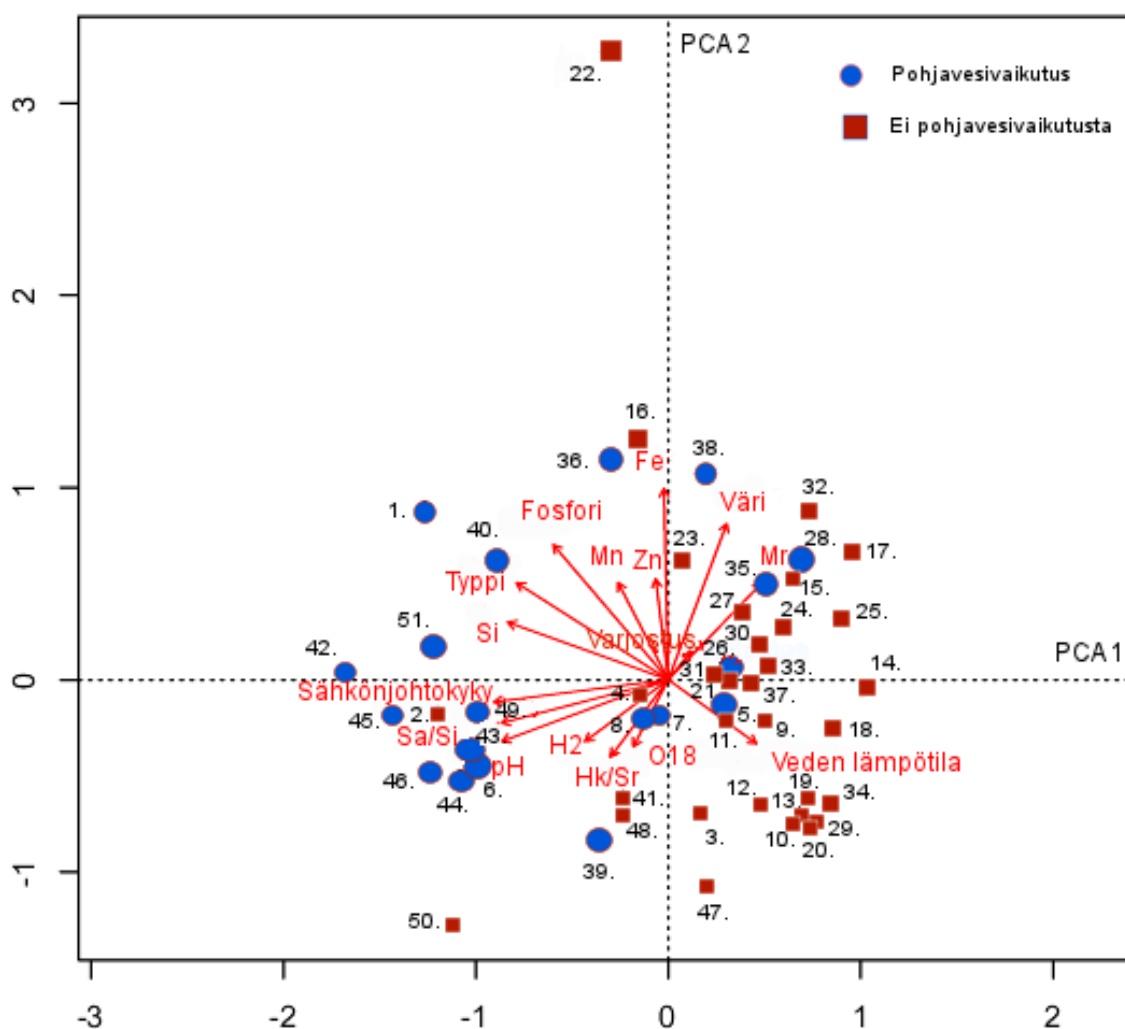
Kuvaajan ensimmäinen akseli erotti toisistaan kuvaajan vasemmalla puolella sijaitsevat korkeamman lämpötilan, silikaattipitoisuuden ja pH:n purot kuvaajan oikealla puoliskolla sijaisevista matalampien arvojen puroista. Kuvaajan toinen akseli erotteli purot pääasiassa kirkkauden ja humuspitoisuuden mukaan. Pohjavesi-pintavesi vuorovaikutusta ilmentävistä muuttujista silikaattipitoisuus oli merkitsevin piilevien yhteisökoostumukseen vaikuttava tekijä, mutta se oli RDA –analyysin ensimmäisellä akselilla vasta kuudenneksi tärkein vaikuttaja (-0,49). Vedyn ja hapen isotoopit olivat ensimmäisellä akselilla sijoilla seitsemän ja yksitoista merkittävyydessä ja veden lämpötila oli ensimmäisellä akselilla 13. merkitsevin. Myös RDA –analyysin toisella akselilla olevista pohjavesivaikutusta ilmentävistä muuttujista veden lämpötila oli seitsemänneksi merkitsevin ja silikaatti kahdeksanneksi merkitsevin.

Redundanssianalyysi tehtiin myös pelkästään pohjavesivaikutusta ilmentäville muuttujille, mutta muuttujien merkitsevyydet pysyivät melko saman suuruisina. Redundanssianalyysin perusteella pohjavesi-pintavesi vuorovaikutusta ilmentävät muuttujat eivät vaikuttaneet piilevien yhteisökoostumukseen merkittävästi lukuun ottamatta sähkönjohtavuutta ja maaperämuuttujia. Koska sähkönjohtavuuspitoisuuksiin vaikuttavat pohjaveden lisäksi muun muassa orgaanisen aineksen hajominen ja maankäyttö sekä maaperämuuttujat vaikuttavat piileväkoostumukseen epäsuorasti, ei näiden pohjavesipurkautumista ilmentävien muuttujien merkittävyydet riitä selittämään purkautuvan pohjaveden merkittävyyttä piilevyhteisöihin.

6.2.2 Pääkomponenttianalyysi

Ympäristömuuttujia analysoivan pääkomponenttianalyysin perusteella kaksi ensimmäistä akselia selittivät 43,3 % aineiston vaihtelusta. Vastaavanlaisia arvoja on saatu myös muista tutkimuksista. Esimerkiksi Soininen et al. 2009 saivat tutkimuksessaan PCA:n kahden ensimmäisen akselin selitysasteeksi 37,5 %. Ensimmäisen akselin merkittävimpiä purojen vesikemiaan vaihteluja aiheuttavia tekijöitä olivat sähkönjohtokyky, pH, silikaatti ja maaperän savi-silttikerros (Kuva 11). Toisella akselilla merkittävimpiä olivat rauta, veden väri, fosfori ja typpi. PCA-analyysin kuvaaja erotti omiksi ryhmikseen pohjavesivaikutteiset ja ei-

pohjavesivaikutteiset näytepisteet. Toisen akselin vasemmalla puolella sijaitsevat enimmäkseen pohjavesivaikutteiset tutkimuspurot ja oikealla puolella ei-pohjavesivaikutteiset purot. Pohjavesivaikutteisille näytepisteille vaikuttivat eniten sähkönjohtokyky, silikaatti, typpi, savi- ja silttipitoinen maaperä, hapen ja vedyn isotoopit sekä veden pH. Tutkimuspuroihin, joissa ei ollut pohjavesivaikutusta vaikuttivat pääkomponenttianalyysin mukaan veden muuttujista eniten veden väri, mangaani, sinkki ja varjostus. Nouseva veden lämpötila vaikutti ei-pohjavesivaikutteisiin puroihin kun puolestaan laskeva veden lämpötila näkyi pohjavesivaikutteisissa näytepisteissä.

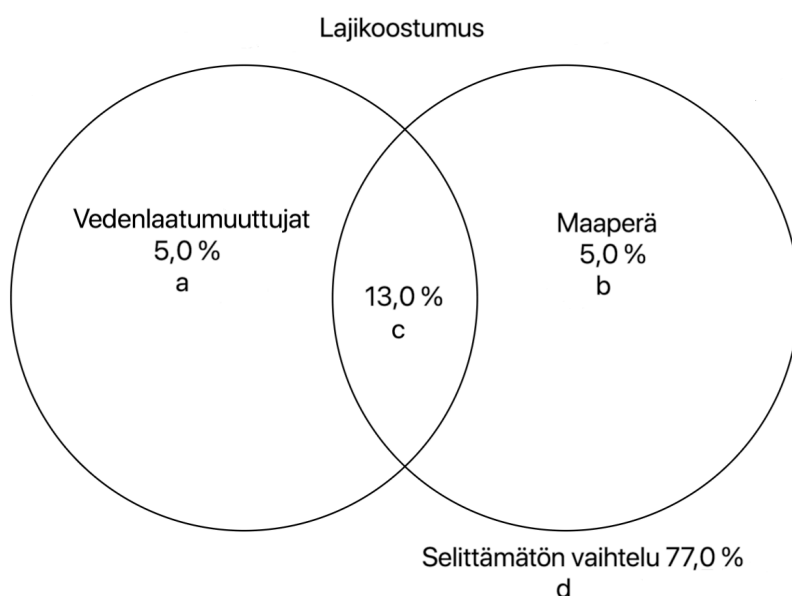


Kuva 11. Pääkomponenttianalyysin tulos kuvaajana. Selittävien muuttujien vaikutukset kuvattu vektoreilla ja pohjavesivaikutteiset sekä ei-pohjavesivaikutteiset näytepisteet kuvattu eri symboleilla.

Valuma-alueiden maaperän koostumus vaihteli eri purojen välillä, mikä aiheutti näin ollen vaihtelua myös purojen ainespitoisuuksille. Pääkomponenttianalyysin mukaan savi-silttipitoinen maa-aines korreloi eniten purojen 2, 6, 43, 44, 45, 46 ja 49 kanssa. Nämä tutkimuspisteet sijaitsevat Etelä-Suomessa, missä maaperä koostuu enimmäkseen hienojakoisesta aineksesta (Lahermo et al. 1996). Kyseisillä näytepisteillä myös sähkönjohtavuus ja pH olivat voimakkaasti vaikuttavana tekijänä. Tämä selittyy sillä, että savipitoiset maat, sähkönjohtavuus ja pH korreloivat voimakkaasti toistensa kanssa. Näytepisteet sijaitsivat näytepiste numero 2 lukuun ottamatta pohjaveden purkautumisalueilla. Yleensä pohjaveden muodostuminen on erittäin vähäistä savi- ja silttipitoisilla mailla maalajien pienen huokoskoon takia (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Kyseisellä valuma-alueella voi olla myös vettä hyvin johtavia sora- ja hiekkamuodostumia, vaikka ne eivät pinta-alaltaan olisikaan vallitsevia.

6.2.3 Hajonnan ositus

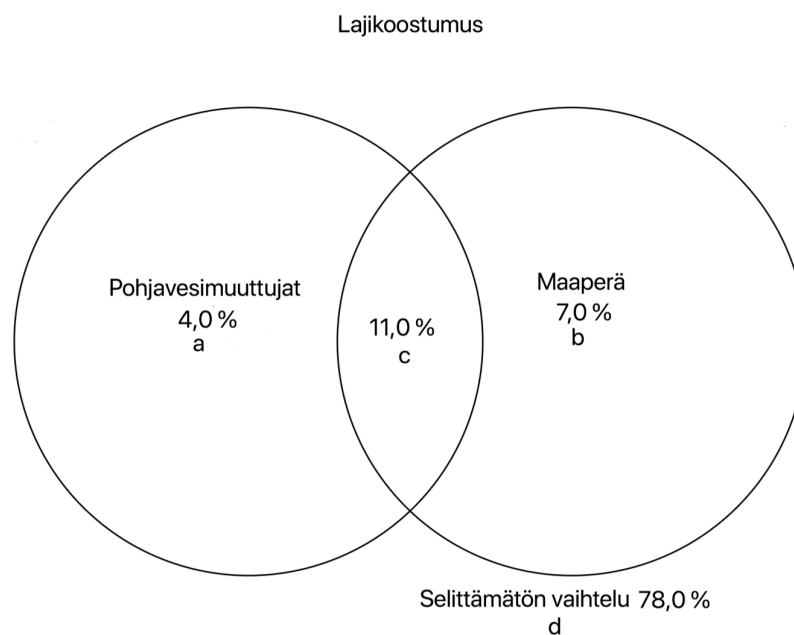
Piilevälajiston koostumuksesta 23 % saatiin selitettyä hajonnan osituksen avulla, jossa selittävinä muuttujina olivat vedenlaatumuuttujat ja maaperä (Kuva 12). Hajonnan osituksen mukaan vedenlaadun muuttujat sekä valuma-alueen maaperä selittivät kummatkin 5 % lajiston kokonaisvaihtelusta.



Kuva 12. Hajonnan ositus, jossa selitetään lajikoostumuksen vaihtelua. Lajistoa selittävinä tekijöinä olivat vesikemiamuuttujat sekä valuma-alueen maaperä. Kuvaajassa a ja b selittävät kummankin muuttujaryhmän yksittäisiä vaikutuksia, c yhteisvaikutusta sekä d jäljelle jäävää selittämätöntä vaihtelua.

Vedenlaadun muuttujien ja valuma-alueen maaperän yhteisvaikutus oli 13 %. Yhteisvaikutus oli suurempi kuin yksittäiset muuttujat, sillä maaperä sekä veden laatu vaikuttavat toisiinsa voimakkaasti. Hajonnan osituksen selittämättömien vaikutusten osuus oli suuri (77 %), mutta tämä ei poikkea vastaavien tutkimusten tuloksista. Selittämättömien vaikutusten osuuden perusteella voidaan päätellä, että useita piilevien lajistokoostumukseen vaikuttavia tekijöitä jäi selvittämättä.

Kun hajonnan osituksessa vertailtiin pohjavesivaikutusta ilmentävien muuttujien (veden lämpötila, silikaatti, hapen ja vedyn isotoopit, sähkönjohtavuus) sekä maaperän vaikutusta piilevälajistokoostumukseen, saatiin selittävien tekijöiden yhteisvaikutukseksi 22 %, joka oli vain hieman pienempi kuin vedenlaatumuuttujien sekä maaperän yhteisvaikutus. Pohjavesimuuttujien erillinen osuus yhteisvaikutuksesta oli 4 % ja maaperän 7 % ja yhdessä ne vaikuttivat 11 %. Selittämättömien vaikutusten osuus oli hajonnan osituksen mukaan 78 %.



Kuva 13. Hajonnan ositus, jossa selitetään lajikoostumuksen vaihtelua. Lajistoa selittävinä tekijöinä oli pohjavesi-pintavesi –vuorovaikutusta ilmentävät muuttujat sekä valuma-alueen maaperä. Kuvaajassa a ja b selittävät kummankin muuttujaryhmän yksittäisiä vaikutuksia, d yhteisvaikutusta sekä h jäljelle jäävää selittämätöntä vaihtelua.

Hajonnan osituksen mukaan kaikki vedenlaatumuuttajat olivat hieman merkittävimpiä selittäjinä kuin pelkät pohjavesimuuttajat. Maaperän vaikutus piilevayhteisökoostumukseen oli vedenlaatumuuttajien kanssa yhteneväinen, mutta pohjavesimuuttajiin verrattuna maaperän vaikutus oli hieman merkittävämpi. Pohjavesimuuttajien vaikutus oli vain prosentin verran pienempi vedenlaatumuuttajiin verrattuna, vaikka vedenlaatumuuttajia oli suhteessa huomattavasti enemmän kuin pohjavesimuuttajia. Pohjavesimuuttajien suhteellisen suuri prosentuaalinen osuus hajonnan osituksessa selittyy todennäköisesti kuitenkin suurimmaksi osaksi sähkönjohtavuuden avulla, sillä sähkönjohtavuudella oli redundanssianalyysin mukaan suurin vaikutus piilevien yhteisökoostumukseen.

6.2.4 Pohjavesivaikutus piilevälajeihin

Pohjavesi-pintavesi vuorovaikutuksen perusteella vyöhykkeisiin jaettujen lajistojen eroja testattiin similariteettianalyysin (ANOSIM) avulla. Analyysin perusteella lajistot erosivat merkittävästi pohjavesivaikutteisissa ja ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa ($R=0,1773$, $p=0,001$)

Yleisimpinä esiintyvien eri piilevälajien (Taulukko 4) keskimääräiset yksilömäärät vaihtelivat pohjavesivaikutteisissa ja ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa. Osa lajeista, kuten *Achnanthes minutissima*, esiintyi lähes kaikissa tutkimuspuroissa eikä pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten purojen välillä ollut huomattavia eroavaisuuksia (Taulukko 8). Pohjavesivaikutteisissa puroissa *Cocconeis placentulalla*, *Achnanthes lanceolatalla* ja *Navicula lanceolatalla* oli selkeästi suhteellisesti suuremmat yksilömäärät verrattuna ei-pohjavesivaikutteisiin puroihin. Puolestaan *Fragilaria capucinalla*, *Tabellaria flocculosa*, *Achnanthes oblongellalla* ja *Anomoeoneis brachysiralla* keskimääräiset yksilömäärät olivat suuremmat ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa. Useat piilevälajistojen lajeista olivat harvalukuisia ja esiintyivät vain harvoissa tutkimuspuroissa.

Taulukko 8. Pohjavesivaikutteisten ja ei-pohjavesivaikutteisten näytepisteiden piilevälaajiston eroavaisuudet. Purojen yksilömäärät esitetty keskimääräisinä lajimäärinä.

Taksoni	Pohjavesivaikutus (keskimääräinen lajimäärä)	Ei pohjavesivaikutusta (keskimääräinen lajimäärä)
<i>Achnanthes minutissima</i>	143	143
<i>Fragilaria capucina</i>	18	36
<i>Gomphonema angustatum</i>	16	21
<i>Tabellaria flocculosa</i>	12	40
<i>Navicula cryptocephala</i>	12	8
<i>Eunotia bilunaris</i>	17	20
<i>Gomphonema parvulum</i>	7	7
<i>Frustulia rhomboides</i>	22	24
<i>Achnanthes subatomoides</i>	11	20
<i>Nitzschia palea</i>	8	6
<i>Cymbella silesiaca</i>	7	4
<i>Achnanthes linearis</i>	11	14
<i>Pinnularia subcapitata</i>	5	6
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i>	9	10
<i>Achnanthes oblongella</i>	23	38
<i>Eunotia meisteri</i>	21	27
<i>Achnanthes helvetica</i>	9	15
<i>Eunotia minor</i>	9	8
<i>Eunotia tenella</i>	9	6
<i>Eunotia implicata</i>	12	4
<i>Eunotia incisa</i>	3	10
<i>Nitzschia dissipata</i>	6	11
<i>Cocconeis placentula</i>	58	37
<i>Achnanthes lanceolata</i>	44	13
<i>Navicula minima</i>	19	13
<i>Anomoeoneis vitrea</i>	4	13
<i>Navicula lanceolata</i>	35	10
<i>Anomoeoneis brachysira</i>	4	21
<i>Navicula gregaria</i>	16	11

6.3. Maaperän lajittuneisuusvertailu

Tutkimuspurojen maaperän koostumuksia selvitettiin arvioimalla purojen pohjasedimenttien lajittuneisuutta prosentuaalisesti, sedimenttinäytteiden raekokoanalyysillä sekä GTK:n Hakku-palvelun maaperäkartan perusteella. GTK:n maaperäkartta-aineiston avulla määriteltiin maalajit kunkin tutkimuspuron valuma-alueelta, kun taas sedimenttiseulontojen näytteet ja kentällä tehdyt määritykset olivat suoraan näytepuron maaperästä. Tutkimuspuroista kerätyille näytteille tehdyt sedimenttiseulonnat sekä valuma-alueen maaperäselvitykset tehtiin purojen pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutteisuustutkimuksia varten, sillä maalajikoostumus vaikuttaa sekä

pohjaveden muodostumiseen, että purkautumiseen. Tutkimuspuroista tehdyt arviot pohjasedimenttien lajittuneisuudesta tehtiin puolestaan piilevätutkimuksia varten, sillä kasvualusta ja etenkin kiviaineksen koko vaikuttavat piilevyyhteisöön. Koska maaperäaineistoa kertyi eri tutkimusmenetelmillä, voitiin eri tavoilla kerättyä maaperädataa vertailla toisiinsa.

Eri tekniikoilla määritetyt maalajitiedot poikkesivat toisistaan melko paljon. Sedimenttilaboratoriossa tehdyssä sedimenttinäytteiden seulonnoissa maaperän koostumus vaihteli hiekasta soraan (Liite 2). Hienoimmillaan raekoko oli sedimenttiseulontojen mukaan näytepisteessä 14, jossa maa-aines koostui keskikarkeasta hiekasta ja näytepisteessä 18, jossa maaperä koostui karkeasta hiekasta. Myös kentällä tehdyissä maalajimäärittelyissä kyseisten näytepisteiden maaperä koostui suurimmalta osalta hiekasta. Maalajimäärittelyn mukaan näytepisteessä 14 hiekkaa oli 46 % ja näytepisteessä 18 65 % maalajitteista. Kartta-aineiston perusteella tehdyn maaperämäärittelyn mukaan näytepisteiden 14 ja 18 valuma-alueilla ei esiintynyt hiekkaa ollenkaan.

Seulontatulosten mukaan näytepisteen 4 maaperä koostui hienosta sorasta. Tutkimuspurosta paikan päällä tehdyn määrittelyn perusteella soraa ei esiintynyt kyseisessä näytepurossa. Myös maaperäkartan mukaan valuma-alueen maalajitteissa ei ollut soraa. Loput seulonnoilla määritellyistä tutkimuspurojen (22, 24 ja 51) maalajitteista olivat keskikarkeaa soraa. Kenttämäärittelysten mukaan sora oli näytepisteessä 22 toiseksi yleisin maalaji 30,5 % osuudella. Näytepisteissä 24 ja 51 ei kenttämäärittelyn mukaan esiintynyt soraa ollenkaan. Maaperäkartan perusteella näytepisteen 22 valuma-alueen maalajeissa ei esiintynyt soraa ja näytepisteen 24 valuma-alueen maalajeista vain 2 % oli soraa. Näytepisteen 51 valuma-alueen maalajitietoja ei ollut mahdollista saada.

Eri menetelmillä määritettyjen maaperätutkimusmenetelmien käyttökelpoisuutta vertaillessa voidaan todeta, että suoraan tutkimuspuroista paikan päällä tehtyjen pohjasedimentin lajittuinesuusarvioiden ja GTK:n maaperäkartta-aineiston tulokset vaihtelevat huomattavasti. Esimerkiksi niissä puroissa, joissa pohjasedimentin lajittuneisuusarvion perusteella oli maaperän valtalajina hiekka, ei GTK:n maaperäaineiston perusteella esiintynyt hiekkaa ollenkaan, lukuun ottamatta

tutkimuspuroa 51, jossa kummankin tuloksen mukaan valtalajina oli hiekka. Koska sedimenttiseulontoja ei tehty kaikille näytteille, eivät tulokset ole täysin vertailukelpoisia. Maaperän lajittuneisuustuloksiin vaikuttaa myös se, että maaperäkartan perusteella määritetyt maaperän koostumukset ovat koko tutkimuspuron valuma-alueelta, kun puolestaan sedimenttiseulonnat ja pohjasedimentin lajittuneisuusarviot tehtiin suoraan tutkimuspuron maaperästä, jolloin ne edustavat vain hyvin pientä aluetta verrattuna koko valuma-alueen laajuuteen. Lisäksi purojen sedimentit ovat osittain uudelleenlajittuneet ja hienoin aines kulkeutunut veden mukana suvantoalueille.

6.4 Tulosten luotettavuustarkastelu

Tutkimustuloksiin on saattanut vaikuttaa erilaiset aineiston keräämiseen, määrittämiseen ja analysointiin liittyvät tekijät. Näytteenottovaiheessa kenttämittarit kalibroitiin tarpeen mukaan ja näytteenotto sekä mittaukset suoritettiin aina samassa toimintajärjestyksessä. Näytteiden keruuvaiheessa vesinäytteet altistuivat eripituisille kuljetusajoille ja säilytyksen aikana on voinut tapahtua reaktioita, jolloin pitoisuudet ovat voineet muuttua ja analyysitulokset vääristyä. Näytteille on saattanut tapahtua näytteenottovaiheessa tai laboratoriossa analyysivaiheessa kontaminaatiota, mikä on vaikuttanut tuloksiin. Laboratorioanalyysissä tulosten luotettavuuden varmistamiseksi tehtiin näytteistä rinnakkaismääritykset sekä puhdasainenollanäytteet, mutta mittaus- ja kalibrointivirheitä on voinut tapahtua. Tutkimuksen aineisto edustaa kunkin puron tilaa vain tiettyinä hetkenä ja kertaluontoinen näytteenotto mahdollistaa hyvin rajallisen havainnoinnin purovesien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Luotettavuutta olisi mahdollista parantaa pitkäaikaisseurannalla, joillon ajallinen vaihtelu tulisi huomioitua ja esimerkiksi piilevien yhteisörakenteeseen vaikuttava ympäristömuuttujien ajallinen vaihtelu tulisi esiin.

Kivien päältä kerätyt piilevänäytteet pyrittiin ottamaan samalla syvyydellä sijaitsevista kivistä, mutta purojen veden pinnan taso saattaa vaihdella esimerkiksi sääolosuhteiden vuoksi, jolloin kerätyt kivet ovat voineet altistua ajoittaiselle kuivumiselle, mikä saattaa vaikuttaa piileväyhteisöjen koostumukseen. Piilevänäytteet saattoivat myös sisältää kuolleita yksilöitä tai muualta kulkeutuneita yksilöitä, joiden indikoimat ympäristöolosuhteet vääristävät todellisia ympäristöolosuhteita.

Piilevätunnistuksessa lajinmääritys pyrittiin tekemään mahdollisimman huolellisesti, mutta määrittelijöiden kokemattomuus saattaa heikentää määritysten luotettavuutta. Lisäksi lajimääritystä suoritti kaksi henkilöä, jolloin piilevien tunnistamisessa saattaa olla vaihtelua. Solut pyrittiin määrittelemään lajitasolle asti, mutta muutamassa näytteessä määritys oli mahdollista tehdä vain sukutasolle. Pienisoluisten sukujen, kuten *Achnanthes*- ja *Navicula*-sukujen lajien tunnistamisessa oli erityisen haastavaa erottaa samankaltaisia lajeja toisistaan. Lisäksi piilevien kokovaihtelu voi vaikuttaa tutkimustuloksiin, sillä suurikokoiset lajit rikkoutuvat näytteenotto- ja käsittelyvaiheessa herkemmin kuin pienet lajit. Koska rikkiäisiä soluja ei oteta huomioon piilevälaskennassa, jää osa suurikokoisista lajeista tutkimuksessa havaitsematta. Suuria lajeja esiintyy näytteissä kuitenkin harvemmin kuin pieniä (Snoeijs et al. 2002), joten vääristymä ei ole merkityksellinen. Osassa näytteistä soluja oli hyvin tiheästi, jolloin osa soluista jäi toisten solujen alle eikä niitä ollut mahdollista tunnistaa. Jokaisesta näytteestä laskettiin noin 500 solua, ja niissä näytteissä, joissa esiintyi hyvin paljon pieniä jonkin tietyn lajin edustajia, jäi harvinaisempia lajeja havaitsematta.

Tässä tutkimuksessa käytettiin selittävinä muuttujina aiemmissa piilevätutkimuksissa merkitseviksi havaittuja tekijöitä. Kuitenkin mukana oli vain osa piilevien yleisimmistä esiintymiseen vaikuttavista muuttujista, joten on huomioitava, että yhteisökoostumukseen vaikuttavia tekijöitä jäi huomioimatta. Useat purovedet ovat olleet alttiina myös maankäytölle, jota ei tässä tutkimuksessa huomioitu. Maankäyttö vaikuttaa kuitenkin sekä purovesien kemialliseen koostumukseen, että piileväyhteisöihin (Cantonati et al. 2001).

Valuma-alueen määrittämisessä ei ollut mahdollista tunnistaa kuuden tutkimuspuuron valuma-aluetta, joten tiedot näiden näytepisteiden valuma-alueiden maaperäkoostumuksesta sekä mahdollisista pohjavesialueista puuttuvat. Puuttuvien valuma-alueiden maaperäaineisto korvattiin kentällä tehdyillä maaperämäärityksillä, joka saattaa vääristää analyysyjä. Etelä-Suomen näytteet kerättiin myöhempänä ajankohtana kuin muut näytteet, jolloin kasvuympäristön olosuhteet ovat voineet muuttua. Lisäksi hieman ennen Etelä-Suomen näytteiden keräämistä esiintynyt Kiirajärvi saattoi vaikuttaa vesien laatuun ja piileväkoostumukseen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Pohjavesivaikutusta ilmentävien kemiallisten muuttujien sekä valuma-aluemuuttujien perusteella pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutusta havaittiin esiintyvän yhteensä 19 tutkimuspurossa. Tutkimuspisteiden 1, 5, 6, 7, 8, 26, 28, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 49 ja 51 $\delta^{2}\text{H}$ ja $\delta^{18}\text{O}$ –arvot osuivat GMWL- ja LMWL –suorille tai hyvin lähelle sitä ja isotooppisuhteet poikkesivat muista näytepisteistä sen verran, että on oletettavaa, että puroihin purkautuu pohjavettä. Myös veden haihtuvuutta kuvaava d-excess-arvo oli GMWL- ja LMWL-suorille sijoittuvilla puroilla keskimääräistä suurempi ja lähellä pohjaveden arvoja. Pohjavesivaikutteisten tutkimuspurojen silikaatti- ja sähkönjohtavuusarvot olivat keskimääräistä suurempia, mikä on seurausta pohjaveden pidempiaikaisista reaktioista maa- ja kallioperän kanssa. Lisäksi useissa pohjavesivaikutteisissa näytepisteissä pohjaveden purkautuminen näkyi alentuneina sedimentin- ja veden lämpötiloina.

Parittaisen epäparametrisen testin mukaan pohjavesivaikutusta ilmentävät muuttujat sekä pohjavesivaikutteiset näytepaikat korreloivat tilastollisesti merkittävästi. Lisäksi Spearmanin korrelaatiotestin perusteella pohjavesimuuttujat korreloivat toistensa kanssa. Näin ollen voidaan olettaa, että kyseiset pohjavesivaikutusta kuvaavat muuttujat ilmentävät pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutusta ja tulosten perusteella määriteltyihin puroihin purkautuu pohjavettä.

Merkittävimpiä piilevälajistoon vaikuttavia tekijöitä olivat sähkönjohtavuus, pH, fosfori, veden väri sekä epäsuorasti vedenlaatuun sekä pohjaveden muodostumiseen ja purkautumiseen vaikuttava savi-siltti lajitteinen maaperä. Piilevin kuorten rakennusaineena käyttämän silikaatin vaikutus yhteisökoostumukseen ei ollut kovin merkittävä. Myös muiden pohjaveden purkautumista ilmentävien muuttujien merkittävyys yhteisökoostumuksen säätelijöinä ei ollut suuri. Siitä huolimatta piilevälajistot erosivat merkittävästi pohjavesivaikutteisissa ja ei-pohjavesivaikutteisissa puroissa. Esimerkiksi *Achnanthes lanceolata* ja *Navicula lanceolata* esiintyvät selkeästi suhteellisesti runsaslukuisempina ryhmänä pohjavesivaikutteisissa puroissa verrattuna ei-pohjavesivaikutteisiin puroihin.

Tutkimuksessa kertyi maaperäaineistoa eri tutkimusmenetelmistä, jota voitiin vertailla toisiinsa. Suoraan tutkimuspuroista paikan päällä tehtyjen pohjasedimenttien lajittuneisuusarvioiden ja purosedimenttinäytteseulontojen sekä valuma-alueen GTK:n maaperäkartta-aineiston perusteella määritellyt tulokset erosivat huomattavasti toisistaan. Huolimatta siitä, että maaperäkartta-aineiston perusteella määritelty lajittuneisuus koski koko valuma-aluetta ja sedimenttiseulontojen näytteet sekä lajittuneisuusarviot keskittyivät vain tutkimuspuroon, ei maaperän lajittuneisuustuloksissa esiintynyt merkittävästi yhtäläisyyksiä. Eri maaperätutkimusmenetelmiä vertaillen voidaan todeta, että valuma-alueen maaperäkartta-aineiston perusteella voidaan selvittää tutkimusalueen pääasiallinen maaperäkoostumus, mutta sedimenttiseulontojen ja pohjasedimenttien lajittuneisuusarvioiden avulla on mahdollista määrittää tutkimuspisteen maaperälajittuneisuus, vaikka se ei esiintyisi tutkimuspisteen valuma-alueella vallitsevana maalajina.

8. KIITOKSET

Kiitos ohjaajilleni Kirsti Korkka-Niemelle, Janne Soiniselle ja Virpi Pajuselle mielenkiintoisesta graduaiheesta sekä neuvoista ja avusta työn kaikissa vaiheissa. Erityiskiitos Virpille avusta näytteiden keruussa sekä kärsivällisyydestä piilevänäytteiden tulosten analyyseissä, apusi oli korvaamatonta. Suuri kiitos kuuluu myös Natalia Ervingille yhteistyöstä näytteiden keruussa, laboratoriotöissä sekä piilevien tunnistamisessa, en olisi voinut saada parempaa tutkimuskaveria. Kiitos myös Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle sekä kaikille niille henkilöille, jotka ovat avustaneet gradunteossa. Lopuksi kiitokset vielä Sini Hietulalle, Anniina Höltälle sekä kaikille ystävilleni ja perheelleni, jotka ovat kannustaneet koko graduprosessin ajan.

VIITELUETTELO

- Ahola, M. ja Havumäki, M. 2008. Purokunnostusopas. Kainuun Ympäristökeskus ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, 88 s.
- Ala-aho, P. 2014. Groundwater-surface water interactions in esker aquifers; From field measurements to fully integrated numerical modelling. University of Oulu, Juvenes Print, Tampere, 118 s.
- Allan, D.J. 1995. Stream ecology. Chapman & Hall, London, 388 s.
- Allan, J.D. ja Castillo, M.M. 2007. Stream Ecology: Structure and function of running waters. Springer, Dordrecht, 435.
- Anderson, N.J. 2000. Miniview: Diatoms, temperature and climatic change. European Journal of Phycology, 35, 307-314.
- Arnell, N. 2002. Hydrology and Global Environmental Change. Pearson Education Limited, Edinburgh, Harlow & Essex, 346 s.
- Biggs, B.J.F. 1996. Patterns in Benthic Algae of Streams. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems. Academic Press, San Diego, 31-51.
- Biggs, B.J.F., Goring, D.G. ja Nikora, V.I. 1998. Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. Journal of Phycology, 34, 598-607.
- Blinn, D.W., Fredericksen, A. ja Korte, V. 2007. Colonization rates and community structure of diatoms on three different rock substrata in a lotic system. British Phycological Journal, 15:4, 303-310.
- Borcard, D., Legendre, P. ja Drapeau, P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. Ecology 73:3, 1045-1055.
- Borchardt, M.A. 1996 Nutrients. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems. Academic Press, San Diego, 184-227.
- Braak ter, C.J.F. 1994. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods. Écoscience 1:2, 127 – 140.
- Braak ter, C.J.F. ja Prentice, I.C. 1988. A theory of gradient analysis. Advances in ecological research vol. 34, 271 – 317.
- Cantonati, M., Corradini, G., Jüttner, G., Ingrid, I. ja Cox, E.J. 2001. Diatom assemblages in high mountain streams of the Alps and the Himalaya. Nova Hedwigia 123, 37 – 61.
- Chepurnov, V., Mann, D.G., Sabbe, K. ja Vyverman, W. 2004. Experimental Studies on Sexual Reproduction in Diatoms. Teoksessa: Jeon, K.W. (toim.) International review of cytology: A Survey of cell biology. Elsevier Academic Press, San Diego, 92-154.
- Clark, I. ja Fritz, P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers/CRC Press, Boca Raton, 328 s.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18, 117 – 143.
- Conley, D.J. 1997. Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget. Limnology and Oceanography 42, 774-777.
- Conley, D.J., Stalnacke, P., Pitkänen, H. ja Wilander, A. 2000. The transport and retention of dissolved silica by rivers in Sweden and Finland. Limnology and Oceanography 45, 1850-1853.
- Cox, E.J. 2009. Has the role of the substratum been underestimated for algal distribution patterns in freshwater ecosystems? Biofouling, 1, 49-63.
- Cox, E.J. 2011. Morphology, Cell Wall, Cytology, Ultrastructure and Morphogenetic Studies. Teoksessa: Seckbach, J. ja Kociolek, J.P. (toim.) The Diatom World. Springer Science & Business Media, 20-46.
- Dam, H. van, Mertens, A. ja Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 28, 117-133.

- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436 – 468.
- DeNicola, D.M. 1996. Periphyton Responses to Temperature at Different Ecological Levels. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, 150-181.
- Dixit, S.S., Smol, J.P., Kingston, J.C. ja Charles, D.F. 1992. Diatoms: powerful indicators of environmental change. *Environmental Science and Technology* 26:1, 22-33.
- Eloranta, P. 1978. Light penetration in different types of lakes in Central Finland. *Holarctic Ecology*, 1, 362-366.
- Eloranta, P. ja Soininen, J. 2002. Ecological status of some Finnish rives evaluated using benthic diatom communities. *Journal of Applied Phycology* 14, 1-7.
- Eloranta, P. 2004. Perifytonmääritys luonnonalustoilta. Teoksessa: Ruoppa, M. ja Heinonen, P. (toim.) *Suomessa käytetyt biologiset vesitutkimusmenetelmät*. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 23-26.
- Eloranta, P., Karjalainen, S.M. ja Vuori, K-M. 2007. Piilevâyhteisöt jokivesien ekologisen tilan luokittelussa ja seurannassa – menetelmäohjeet. *Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus*, 58 s.
- Finlay, B.J. 2002. Global Dispersal of Free-Living Microbial Eukaryote Species. *Science*, 296, 1061-1063.
- Finlay, B.J. ja Fenchel, T. 2004. Cosmopolitan Metapopulations of Free-Living Microbial Eukaryotes. *Protist*, 155, 237-244.
- Grinten, E. van der., Janssen, M., Simis, S.G.H., Barranguet, C. ja Admiraal, W. 2004. Phosphate regime structures species composition in cultured phototrophic biofilms. *Freshwater Biology*, 49, 369-381.
- Heininger, P. ja Cullmann, J. 2015. *Sediment matters*. Springer International Publishing, Switzerland, 247 s.
- Heino, J., Bini, L.M., Karjalainen, S.M., Mykrä, H., Soininen, J., Vieira, L.C.G. ja Diniz-Filho, J.A.F. 2010. *Oikos*, 119, 129-137.
- Hill, W.R. 1996. Effects of Light. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, 121-148.
- Hill, W.R. ja Knight, A.W. 1988. Nutrient and light limitation of algae in two northern California streams. *Journal of Phycology*, 24, 125-132.
- Hirst, H., Jüttner, I. ja Ormerod, S.J. 2002. Comparing the responses of diatoms and macroinvertebrates to metals in upland streams of Wales and Cornwall. *Freshwater Biology* 47, 1752 – 1765.
- Hirst, H., Chaud, F., Delabie, C., Jüttner, I. ja Ormerod, S.J. 2004. Assessing the short-term response of stream diatoms to acidity using inter-basin transplants and chemical diffusing substrates. *Freshwater Biology*, 49, 1072-1088.
- Hoek, C. van den., Mann, D.G. ja Jahns, H.M. 1996. *Algae: An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, 640.
- Hämäläinen, L. 2015. Pienvesien suojelu- ja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja 27/2015, Ympäristöministeriö ja Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki, 70 s.
- Julius, M.L. ja Theriot, E.C. 2010. The diatoms: a primer. Teoksessa: Smol, J.P. ja Stoermer, E.F. (toim.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 8-22.
- Jüttner, I., Chimonides, P.D.J., Ormerod, S.J. ja Cox, E.J. 2010. Ecology and biogeography of Himalayan diatoms: distribution along gradients of altitude, stream habitat and water chemistry. *Fundamental and Applied Limnology*, 177:4, 293-311.
- Kaakinen, A. ja Salonen, V-P. 2009. *Sedimentologian harjoitustyöt*. Geologian laitos, Helsingin yliopisto, 27 s.
- Karhu, J. 2001. Hapen ja vedyn isotooppivaihtelut meteorissa vesissä: Suomenpintavedet ja matalat pohjavedet. Teoksessa: Salonen, V-P. ja Korkka-Niemi, K. (toim.) *Kirjoituksia pohjavedestä*. Turun yliopisto, Vammalan Kirjapaino, Vammala, 297 s.
- Kendall, C. ja Coplen, T.B. 2001. Distribution of oxygen-18 and deuterium in river waters across the United States. *Hydrological Processes* 15, 1363-1393.

- Kivimäki, A.-L., Rautio, A., Korkka-Niemi, K., Brander, M., Nygård, M., Vahtera, H., Karhu, J., Salonen, V.-P., Kiirikki, M. ja Lahti, K. 2013. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, julkaisu 69, 133s.
- Koljonen, T. 1992. Suomen Geokemian Atlas, osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 232s.
- Kontas, E. 1979. Purosedimenttien metallipitoisuuksiin vaikuttavista tekijöistä. Teoksessa: Salminen, R. (toim.) Geokemiallisten puro- ja järvisedimenttitutkimusten tuloksiin ja niiden tulkintaan vaikuttavista tekijöistä. Geologinen tutkimuslaitos, tutkimusraportti 34, Espoo, 123 s.
- Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V.-P. 1996. Maanalaiset vedet – pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja. Turun yliopisto, 181 s.
- Korkka-Niemi, K., Kivimäki, A.-L., Lahti, K., Nygård, M., Rautio, A., Salonen, V.-P. ja Pellikka, P. 2011. Observations on groundwater-surface water interactions at River Vantaa, Finland. Management of Environmental Quality: An International Journal vol. 23, No. 2, 222 – 231.
- Kortelainen, N. 2005. Hapen ja vedyn pysyvät isotoopit merkkiaineina. Teoksessa: Kinnunen, T. (toim.). Pohjavesitutkimusopas. Suomen Vesiyhdistys r.y., Vammalan Kirjapaino Oy, 97-100.
- Kortelainen, N. 2007. Isotopic fingerprints in surficial waters: Stable isotope methods applied in hydrogeological studies. Geological Survey of Finland, Espoo, 41 s.
- Kortelainen, N. 2011. Isotope tracing in groundwater applications. Geological Survey of Finland, Special Paper 49, Espoo, 279-284.
- Kortelainen, N. ja Karhu, J. 2001. Stabiilien isotooppien hyödyntäminen tekopohjaveden muodostumisessa ja imeytymisessä: Tuusulan ja Forssan pohjavesialueet. Teoksessa: Salonen, V.-P. ja Korkka-Niemi, K. (toim.) Kirjoituksia pohjavedestä. Turun yliopisto, Vammalan Kirjapaino, Vammala, 297 s.
- Kristiansen, J. 1996. Dispersal of freshwater algae – a review. Hydrobiologia, 336, 151-157.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. ja Taka, M. 1990. Suomen Geokemian Atlas, osa 1: Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 66 s.
- Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. ja Salminen R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja –sedimentit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 150 s.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. ja Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 155, 92 s.
- Legendre, P. ja Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. Oecologia 129, 271 – 280.
- Legendre, P., Oksanen, J. ja Braak ter, C.J.F. 2010. Methods in Ecology and Evolution 2, 269 – 277.
- Lindsberg, E., Putkinen, N. ja Valjus, T. 2017. Kalvholmin pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 43 s.
- Logue, J.B., Mouquet, N., Peter, H., Hillebrand, H. ja The Metacommunity Working Group. (2011). Empirical approaches to metacommunities: a review and comparison with theory. Trends in Ecology and Evolution 26:9, 482-491.
- Mann, D.G. 1999. The species concept in diatoms. Phycologia, 38:6, 437-495.
- Medlin, L.K. 2011. A review of the evolution of the diatoms from the origin of the lineage to their populations. Teoksessa: Seckbach, J. ja Kocielek, J.P. (toim.) The Diatom World. Springer Science & Business Media 93-118.
- Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tammi, Helsinki, 304 s.
- Niemelä, P. 2007. Pohjoisten virtavesien erityispiirteiden vaikutus epiliittisiin piilevâyhteisöihin. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Raportti 4, 33 s.
- Oksanen, J. 2004. Monimuuttujamenetelmät yhteisöekologiassa. 41 s. Julkaisematon moniste. Sivulla vierailtu 24.9.2018. <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/mmm/mmm.pdf>

- Pan, Y., Stevenson, R.J., Hill, B.H., Kaufmann, P.R. ja Herlihy, A.T. 1999. Spatial patterns and ecological determinants of benthic algal assemblages in mid-atlantic streams, USA. *Journal of Phycology*, 35, 460-468.
- Passy, S. 2008. Continental diatom biodiversity in stream benthos declines as more nutrients become limiting. *PNAS* 105:28, 9663 – 9667.
- Passy, S. 2009. The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 383-391.
- Patrick, R. 1977. *Ecology of Freshwater Diatoms and Diatom Communities*. Teoksessa: Werner D. (toim.) *The Biology of Diatoms*, University of California Press, Berkeley & Los Angeles, 284-322.
- Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 2012. *Biometria tilastotiedettä ekologeille*. Gaudeamus, Helsinki, 569s.
- Rautio, A., Kivimäki, A-L., Korkka-Niemi, K., Salonen, V-P., Lahti, K. ja Vahtera, H. 2013. Methods to identify groundwater interaction with river water in the catchment. *Hydrology and Earth System Sciences* 19, 3015 – 3032.
- Rautio, A. 2015. Groundwater-surface water interactions in snow-type catchments: integrated resources. University of Helsinki, Department of geosciences and geography A 32, Unigrafia Oy, Helsinki, 50 s.
- Rautio, A. ja Korkka-Niemi, K. 2015. Chemical and isotopic tracers indicating groundwater/surface-water interaction a boreal lake catchment in Finland. *Hydrogeology Journal*, 23, 687-705.
- Rosenberry, D.O. ja LaBaugh, J.W. 2008. Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, 4-D2, 128s.
- Round, F.E., Crawford, R.M. ja Mann, D.G. 1990. *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 s.
- Salonen, V-P., Eronen, M. ja Saarnisto, M. 2002. *Käytännön maaperägeologia*. Otavan Kirjapaino Oy, Turku, 237 s.
- Sims, P.A., Mann, D.G. ja Medlin, L.K. 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, 45, 361-402.
- Snoeijs, P., Busse, S. ja Potapova, M. 2002. The importance of diatoms cell size in community analysis. *Journal of phycology* 38:2, 265 – 281.
- Soininen, J. 2004. Benthic diatom community structure in boreal streams: Distribution patterns along environmental and spatial gradients. University of Helsinki, Department of Biological and Environmental Sciences, 45 s.
- Soininen, J. 2004. Determinants of Benthic Diatom Community Structure in Boreal Streams: the Role of Environmental and Spatial Factors at Different Scales. *International Review of Hydrobiology*, 89:2, 139-150.
- Soininen, J., Paavola, R. ja Muotka, T. 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography* 27, 330 – 342.
- Soininen, J. 2007. Environmental and spatial control of freshwater diatoms – a review. *Diatom Research*, 22:2, 473-490.
- Soininen, J. 2011. Environmental and spatial control of freshwater diatoms – a review. *Diatom Research* 22 (2), 473 – 490.
- Soveri, J., Mäkinen, R. ja Peltonen K. 2001. Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975-1999. *Suomen Ympäristö* 420, Suomen Ympäristökeskus, Helsinki, 382 s.
- Steenfelt, A. 1993. Comparisons of geochemical patterns obtained from stream sediment, stream organics and till in the Nordkalott project in Fennoscandia. *Journal of Geochemical Exploration*, 49, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 145-159.
- Stevenson, R.J. 1996a. An Introduction to Algal Ecology in Freshwater Benthic Habitats. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, 3-30.
- Stevenson, R.J. 1996b. The Stimulation and Drag of Current. Teoksessa: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. ja Lowe, R.L. (toim.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*.

- Academic Press, San Diego, 321-373.
- Stevenson, R.J., Pan, Y. ja Dam, H. van. 2010. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. Teoksessa: Smol, J.P. ja Stoermer, E.F. (toim.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 57-85.
- Stoermer, E.F. ja Smol, J.P. 1999. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 469 s.
- Suomen Vesiyhdistys. 2005. Pohjavesitutkimusopas. Vammalan Kirjapaino Oy,
- Särkkä, J. 1996. Järven ja ympäristö. Tammer-Paino Oy, Tampere, 157 s.
- Teittinen, A. ja Soininen, J. 2015. Testing the theory of island biogeography for microorganisms, - patterns for spring diatoms. *Aquatic Microbial Ecology* 75, 239 – 250.
- Teittinen, A., Taka, M., Ruth, O. ja Soininen, J. 2015. Variation in stream diatom communities in relation to water quality and catchment variables in a boreal, urbanized region. *Science of the Total Environment* 530-531, 279 – 289.
- Tiffany, M.A. 2011. Epizotic and epiphytic diatoms. Teoksessa: Seckbach, J. ja Kociolek, J.P. (toim.) *The Diatom World*. Springer Science & Business Media, 195-209.
- Vanormelingen, P., Verleyen, E. ja Vyverman, W. 2008. The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity Conservation*, 17:2, 393-405.
- Verleyen, E., Vyverman, W., Sterken, M., Hodgson, D.A., Wever, A.D., Juggins, S., Vijver, B. van de., Jones, V.J., Vanormelingen, P., Roberts, D., Flower, R., Kilroy, C., Souffreau, C. ja Sabbe K. 2009. The importance of dispersal related and local factors in shaping the taxonomic structure of diatom metacommunities. *Oikos*, 118, 1239-1249.
- Weckström, J., Korhola, A. ja Blom, T. 1997. The Relationship between Diatoms and Water Temperature in Thirty Subarctic Fennoscandian Lakes. *Arctic and Alpine Research*, 29:1, 75-92.
- Werner, D. 1977. *The Biology of Diatoms*. University of California Press, Berkeley & Los Angeles, 498 s.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. Saunders, Philadelphia, 860 s.
- Wetzel, C.E., Bicudo, D.d.C., Ector, L., Lobo, E.A., Soininen, J., Landeiro, V.L. ja Bini, L.M. 2012. Distance Decay of Similarity in Neotropical Diatom Communities. *Plos One*, 7:9, 1-8.
- Winter, T.C. 1995. Recent advances in understanding the interaction of groundwater and surface water. *Reviews of Geophysics* 33, 985-994.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.J ja Alley, W.M. 1998. Ground water and surface water a single resource. U.S. Geological Survey Circular, 1139, 79s.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. ja Alley, W.M. 1999. Ground water and surface water: a single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139, Denver, Colorado, 79s.
- Wunsam, S., Cattaneo, A. ja Bourassa, N. 2002. Comparing diatom species, genera and size in biomonitoring: a case study from streams in the Laurentians (Quebec, Canada). *Freshwater Biology* 47, 325 – 340.

LIITEET

Liite 1. Tutkimuspurojen nimet, näytteenottopäivämäärät, koordinaatit ja vedenlaatumuuttujat

Puron nimi	Nro.	Pvm.	Pohjoiskoord.	Itäkoord.	Isotoopit H2	Isotoopit O18	D-excess	Si ppm	Sähköjohto- kyky mS/m	pH	Fe ppb	Zn ppb	Mn ppb	Li ppb	Be ppb	Al ppb	V ppb
Byabäcken	1	8.7.17	6691506	401224	-78,44	-10,80	7,96	7,39	18,90	8,46	1437,54	2,12	50,78	3,17	0,05	226,21	1,36
Tesjoki	2	8.7.17	6705433	462343	-78,13	-10,40	5,07	5,56	19,24	8,05	476,36	1,83	29,51	5,88	0,15	264,84	0,75
Särkjärvi Bäckén	3	8.7.17	6706323	464082	-62,17	-7,42	-2,81	1,53	4,17	7,45	384,25	2,80	39,96	3,01	0,27	194,87	0,23
Onkamaanjoki	4	8.7.17	6722581	531941	-76,40	-9,96	3,28	1,71	6,69	7,48	1100,10	2,09	28,75	2,62	0,10	211,21	0,84
Hauhiansaara	5	8.7.17	6732548	539722	-83,59	-11,32	6,97	3,65	3,32	7,21	577,57	2,81	7,74	1,61	0,10	458,53	0,60
Kupinjoki	6	9.7.17	6772086	585667	-91,64	-12,65	9,56	8,16	14,17	8,26	355,87	1,90	28,82	1,77	0,01	35,36	0,42
Lietoja	7	9.7.17	6817627	610683	-90,09	-12,42	9,27	6,36	4,18	7,91	615,69	2,96	21,94	0,92	0,04	117,15	0,61
Soininjoki	8	9.7.17	6832178	622959	-91,81	-12,76	10,27	7,38	4,30	8,11	530,72	2,45	23,96	1,07	0,02	78,84	0,41
Saarisenjoki	9	9.7.17	6862059	581856	-79,94	-10,15	1,26	2,71	3,76	7,49	637,09	2,38	16,26	1,24	0,03	195,92	0,59
Naisjärvenpuro	10	9.7.17	6858736	587920	-79,52	-10,16	1,76	2,08	2,56	6,82	235,90	2,41	13,85	0,91	0,03	185,08	0,37
Äpärapuro	11	10.7.17	6895684	666339	-85,96	-11,22	3,80	3,06	4,75	7,27	460,95	3,26	57,27	0,52	0,01	77,06	0,34
Kissapuro	12	10.7.17	6941885	667764	-79,31	-10,10	1,49	2,11	3,21	7,10	153,36	2,73	6,68	0,51	0,01	47,43	0,15
Kivilammenpuro	13	10.7.17	6941363	666623	-84,13	-10,85	2,67	1,96	2,91	7,08	275,49	2,69	12,69	0,43	0,01	85,62	0,23
Kaunisjärvenpuro	14	10.7.17	6944577	697374	-87,10	-11,49	4,82	2,64	2,47	6,68	448,02	3,55	17,82	0,53	0,01	250,03	0,75
Riihijoki	15	11.7.17	6951041	701562	-87,81	-11,39	3,31	2,86	4,21	7,02	932,57	3,10	26,65	1,07	0,01	191,50	0,76
PuroNK10	16	11.7.17	6974833	720316	-90,12	-11,91	5,16	4,15	3,87	7,57	2021,79	4,44	69,47	1,24	0,02	174,08	0,83
Mustapuro	17	11.7.17	6992490	721421	-88,87	-11,74	5,05	3,59	1,92	5,90	1166,77	3,59	20,11	0,87	0,01	253,59	0,74
Hanhijoki	18	11.7.17	7020373	674178	-88,68	-11,57	3,88	2,09	1,99	6,41	556,21	2,63	13,75	0,40	0,01	164,86	0,65
Ulkkajoki	19	11.7.17	7015589	669973	-88,18	-11,41	3,10	1,97	1,54	6,64	168,19	2,33	6,74	0,38	0,01	164,58	0,38
Palojoki	20	11.7.17	6983510	644318	-86,61	-11,24	3,31	1,33	2,97	6,96	305,23	2,37	32,81	0,39	0,01	44,30	0,18
Kuusoja	21	12.7.17	6967089	654511	-88,27	-11,76	5,81	2,14	4,26	8,03	200,82	28,42	30,95	0,54	0,00	37,11	0,16
Leppilammenpuro	22	12.7.17	6947658	604586	-80,13	-10,22	1,63	4,41	6,54	6,52	3101,38	24,95	112,29	1,54	0,03	344,15	1,55
Viitapuro	23	12.7.17	6957677	604930	-81,57	-10,79	4,75	4,70	6,85	6,92	1389,85	16,38	54,53	1,05	0,03	260,40	1,15
Multapuro	24	12.7.17	6976688	622097	-86,52	-11,37	4,44	3,45	4,28	7,02	1027,67	3,65	18,16	0,77	0,01	151,85	0,84
Särkankarit	25	12.7.17	6974044	607007	-85,72	-11,26	4,36	1,86	2,75	6,43	1063,90	4,76	35,12	0,63	0,02	223,06	1,62
Tyylinpuro	26	13.7.17	6945170	506000	-85,58	-11,54	6,74	4,28	3,42	7,62	1038,93	2,51	31,94	1,10	0,02	258,19	1,16
Viipperonjoki	27	13.7.17	6931805	504333	-79,11	-10,25	2,89	2,63	3,70	6,95	651,02	3,13	151,77	0,60	0,01	95,91	0,34
Ristijoki	28	13.7.17	6913038	554077	-80,28	-11,00	7,72	3,64	3,14	5,27	1199,57	3,79	20,07	0,52	0,02	504,54	1,30
Joroisvirta	29	13.7.17	6893122	542704	-73,80	-9,07	-1,24	1,16	5,64	6,82	184,22	2,31	14,30	0,93	0,01	38,07	0,28
Pahakkalajoki	30	13.7.17	6876307	550588	-75,65	-9,40	-0,45	1,59	5,69	6,70	1104,08	3,14	77,62	1,39	0,02	122,81	0,91
Haapajoki	31	14.7.17	6872037	543492	-75,21	-9,48	0,63	2,18	5,60	8,10	999,02	5,69	34,99	1,14	0,03	205,79	0,70
Konnusjoki	32	14.7.17	6869755	544789	-82,05	-10,72	3,71	4,35	3,77	6,55	1380,08	4,98	18,92	0,78	0,03	431,01	1,56
Myllyjoki	33	14.7.17	6862254	541859	-76,79	-9,86	2,09	2,10	5,20	6,92	1016,32	3,25	19,41	0,65	0,02	160,21	0,82
Tylttyjoki	34	14.7.17	6847533	547420	-73,24	-9,04	-0,92	2,29	5,61	6,98	162,18	2,48	18,62	0,98	0,01	24,74	0,18
Könssinputous	35	14.7.17	6832920	531791	-81,32	-11,04	7,00	5,38	4,70	6,78	918,96	3,05	17,80	1,26	0,03	308,85	0,74
Kapakkaaja	36	14.7.17	6841400	518483	-77,82	-10,65	7,38	5,93	12,51	7,03	962,21	4,58	27,31	1,90	0,02	316,01	1,27
Emolanjoki	37	14.7.17	6840843	514712	-76,91	-9,67	0,45	2,81	7,49	7,03	768,31	7,48	42,12	0,95	0,02	105,98	0,59
Harjulammenpuro	38	15.7.17	6811773	469858	-84,36	-11,56	8,12	5,93	6,88	7,47	1005,18	3,27	7,03	0,72	0,05	574,32	1,21
Kiikunlähteenpuro	39	15.7.17	6769068	415410	-87,86	-12,10	8,94	5,23	7,00	7,51	37,73	2,96	6,08	1,12	0,00	3,94	0,34
Herajoki	40	15.7.17	6732606	377628	-82,30	-11,15	6,90	6,53	23,54	7,57	1495,82	5,64	43,15	3,14	0,02	130,64	1,10
Keravanjoki/Kellokoski	41	15.7.17	6711999	396088	-68,51	-8,23	-2,67	0,97	8,75	7,44	581,00	2,75	76,06	1,53	0,01	91,86	0,78
Sipoonjoki	42	16.8.17	6703100	404445	-71,19	-9,82	7,37	7,41	24,80	8,36	449,54	3,76	46,15	2,65	0,02	294,87	1,31
Jokela/Palojoki	43	16.8.17	6715242	388789	-66,19	-9,11	6,69	4,97	14,32	8,18	662,63	4,66	27,59	1,96	0,02	106,62	1,28
Kuhakoski	44	16.8.17	6701727	374083	-75,13	-10,14	5,99	6,23	23,08	8,16	567,98	2,96	15,77	2,36	0,01	169,25	1,36
Kylmäoja	45	16.8.17	6685611	390204	-73,46	-10,05	6,94	6,70	41,38	8,06	715,47	5,79	75,78	2,87	0,01	72,36	1,06
Rekolanoja	46	16.8.17	6689525	393079	-68,84	-9,39	6,28	5,77	30,50	8,03	447,48	4,96	19,32	2,45	0,01	75,35	1,22
Haukilammenpuro	47	17.8.17	6688490	363161	-61,90	-7,20	-4,30	0,44	1,97	7,72	287,17	3,76	8,88	0,53	0,02	159,58	0,26
Luukki	48	17.8.17	6687312	371850	-66,88	-8,40	0,32	2,40	10,60	7,88	841,17	2,60	26,74	0,96	0,02	124,39	0,87
Mätäjoki	49	17.8.17	6677697	381683	-69,25	-9,45	6,35	4,83	35,58	7,94	783,47	7,61	46,20	2,66	0,02	53,76	0,70
Uurnalehdonpuro	50	17.8.17	6678819	384681	-72,36	-9,54	3,96	5,52	48,03	8,00	290,64	4,59	16,34	4,19	0,00	17,81	0,59
Longinoja	51	17.8.17	6680458	389947	-75,89	-10,24	6,03	9,81	58,08	7,73	104,89	4,98	62,24	6,36	0,02	16,66	0,55

Nro.	Cr ppb	Co ppb	Ni ppb	Cu ppb	As ppb	Se ppb	Sr ppb	Mo ppb	Cd ppb	Sn ppb	Sb ppb	Ba ppb	Tl ppb	Pb ppb	Bi ppb	U ppb	F mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l	Alk mmol/l	Na mg/l	K mg/l
1	0,84	0,57	3,12	2,51	1,08	0,12	73,42	0,43	0,02	0,01	0,18	15,49	0,01	0,49	0,01	0,47	0,21	19,22	3,13	18,02	0,79	13,64	2,11
2	0,46	0,19	2,97	2,40	0,68	0,13	88,75	0,52	0,01	0,00	0,08	17,21	0,01	0,10	0,00	0,47	1,02	8,27	8,50	16,90	1,05	10,39	2,32
3	0,14	0,23	0,41	0,40	0,44	0,07	18,43	0,12	0,01	0,01	0,08	5,12	0,01	0,05	0,00	0,29	1,28	1,85	0,50	5,80	0,15	2,28	0,71
4	0,48	0,24	0,99	1,20	0,73	0,11	39,51	0,20	0,01	0,01	0,08	11,72	0,01	0,30	0,01	0,26	0,72	2,94	1,31	5,02	0,38	3,92	1,37
5	0,33	0,14	0,28	0,42	0,51	0,08	18,52	0,27	0,01	0,01	0,12	7,06	0,02	0,35	0,00	0,28	0,76	1,37	0,24	3,87	0,13	2,25	0,82
6	0,15	0,26	1,27	0,49	0,30	0,25	58,43	0,47	0,01	0,00	0,05	8,02	0,01	0,01	0,00	0,06	0,15	10,53	2,79	18,30	0,56	6,69	1,78
7	0,52	0,21	0,61	0,34	0,56	0,05	31,74	0,26	0,01	0,01	0,08	5,44	0,01	0,00	0,00	0,12	0,10	1,67	0,45	4,63	0,23	2,34	0,67
8	0,40	0,23	0,59	0,10	0,32	0,05	27,16	0,26	0,01	0,00	0,07	6,59	0,01	0,00	0,00	0,03	0,10	1,55	0,30	6,32	0,24	2,65	1,15
9	0,39	0,20	0,71	0,58	0,87	0,06	26,07	0,18	0,01	0,01	0,11	6,00	0,01	0,08	0,00	0,07	0,10	1,57	0,75	4,86	0,15	2,12	0,83
10	0,28	0,10	0,46	0,50	0,43	0,06	16,37	0,08	0,00	0,01	0,12	4,60	0,01	0,03	0,00	0,07	0,07	1,14	-0,09	3,74	0,11	1,53	0,46
11	0,37	0,21	2,68	0,93	0,22	0,11	39,29	0,12	0,01	0,01	0,09	11,40	0,01	0,02	0,00	0,06	0,07	2,48	1,31	12,13	0,29	2,38	2,25
12	0,17	0,20	0,88	0,92	0,29	0,05	17,96	0,09	0,00	0,00	0,04	6,36	0,00	0,00	0,00	0,13	0,05	1,41	1,25	3,93	0,17	1,41	0,77
13	0,27	0,08	0,90	0,96	0,29	0,06	14,17	0,17	0,00	0,00	0,07	5,60	0,01	0,08	0,00	0,34	0,04	1,70	-0,09	3,65	0,15	1,61	0,73
14	0,55	0,14	0,94	0,77	0,26	0,05	16,03	0,06	0,01	0,01	0,09	9,72	0,01	0,14	0,00	0,05	0,05	1,84	-0,11	2,23	0,11	1,55	0,67
15	0,90	0,15	0,63	0,59	0,63	0,05	26,96	0,18	0,01	0,01	0,09	11,74	0,01	0,13	0,00	0,06	0,07	1,52	0,42	3,27	0,24	2,03	1,31
16	1,61	1,72	7,27	1,12	5,84	0,07	31,32	0,14	0,01	0,05	0,06	13,49	0,01	0,05	0,00	0,06	0,07	1,22	1,43	2,59	0,22	1,72	0,77
17	0,66	0,23	0,66	0,19	0,97	0,05	13,06	0,12	0,01	0,01	0,05	8,00	0,01	0,29	0,00	0,02	0,06	0,88	-0,07	1,43	0,06	1,27	0,44
18	0,45	0,07	0,23	0,48	0,20	0,02	12,46	0,10	0,00	0,01	0,07	6,53	0,00	0,07	0,00	0,04	0,05	1,00	-0,09	1,60	0,12	1,27	0,59
19	0,26	0,06	0,23	0,16	0,13	0,02	8,85	0,04	0,00	0,00	0,08	4,19	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03	0,98	-0,01	1,82	0,07	1,00	0,50
20	0,30	0,12	0,68	0,80	0,29	0,06	12,21	0,09	0,00	0,00	0,06	2,66	0,01	0,01	0,00	0,05	0,04	0,98	-0,10	3,03	0,23	1,07	0,53
21	0,27	0,10	0,75	1,05	0,24	0,09	17,96	0,16	0,00	0,01	0,06	5,72	0,01	0,00	0,00	0,10	0,04	1,17	0,38	3,27	0,32	1,33	0,78
22	0,87	2,29	8,98	2,55	0,42	0,15	36,47	0,16	0,03	0,03	0,06	23,50	0,01	0,15	0,01	0,09	0,12	1,52	3,32	10,07	0,14	1,58	1,77
23	0,67	2,32	17,89	7,41	0,39	0,12	26,02	0,36	0,04	0,01	0,13	17,89	0,01	0,73	0,00	0,09	0,09	2,58	0,77	13,32	0,22	2,23	1,40
24	0,84	0,19	2,32	1,01	0,27	0,07	19,26	0,20	0,01	0,01	0,12	10,73	0,01	0,09	0,00	0,05	0,06	1,28	0,31	4,33	0,26	1,83	0,92
25	0,56	0,47	1,72	1,95	0,21	0,10	13,26	0,30	0,02	0,02	0,05	10,27	0,01	0,31	0,00	0,05	0,06	1,13	0,20	3,12	0,12	1,23	0,81
26	0,69	0,26	0,34	0,58	0,92	0,05	25,18	0,30	0,01	0,01	0,06	7,55	0,01	0,07	0,00	0,06	0,15	1,30	0,24	3,44	0,18	2,27	0,90
27	0,28	0,19	0,38	0,30	0,35	0,02	23,55	0,11	0,01	0,00	0,05	11,53	0,01	0,03	0,00	0,02	0,07	1,90	0,05	3,10	0,21	2,03	0,86
28	0,71	0,62	1,45	0,79	0,32	0,09	23,46	0,13	0,03	0,01	0,09	13,00	0,01	0,24	0,00	0,03	0,07	1,83	0,01	3,19	0,06	1,93	0,43
29	0,21	0,03	0,78	1,26	0,36	0,08	27,38	0,14	0,00	0,00	0,09	7,40	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	2,66	0,22	7,73	0,23	2,58	1,37
30	0,49	0,43	1,46	0,99	1,03	0,08	36,89	0,19	0,00	0,00	0,07	11,73	0,01	0,11	0,00	0,05	0,10	2,90	0,61	7,01	0,23	2,76	1,36
31	0,42	0,36	1,87	1,26	0,29	0,10	34,38	0,18	0,01	0,01	0,09	10,86	0,01	0,09	0,00	0,03	0,10	3,98	0,10	7,76	0,15	3,26	1,34
32	0,87	0,54	1,86	1,37	0,36	0,10	28,51	0,25	0,01	0,01	0,08	9,09	0,01	0,29	0,00	0,03	0,10	2,27	-0,05	4,03	0,09	2,33	0,55
33	0,48	0,20	1,27	0,96	0,40	0,10	25,60	0,17	0,01	0,01	0,09	8,27	0,01	0,10	0,00	0,05	0,10	1,67	0,28	6,23	0,27	1,84	1,06
34	0,15	0,05	0,86	0,51	0,22	0,08	30,82	0,23	0,00	0,00	0,06	5,82	0,01	0,00	0,00	0,02	0,11	2,27	-0,05	8,38	0,25	2,39	1,46
35	0,61	0,30	1,07	0,84	0,49	0,14	44,32	0,51	0,01	0,01	0,08	8,04	0,01	0,03	0,00	0,04	0,13	1,54	0,34	5,81	0,23	2,67	1,16
36	0,94	0,51	2,13	2,48	0,60	0,16	85,56	0,74	0,02	0,01	0,14	18,22	0,01	0,17	0,00	0,08	0,16	12,31	2,76	10,15	0,44	9,78	5,24
37	0,81	0,18	1,30	1,41	0,35	0,09	60,25	0,32	0,01	0,00	0,08	12,86	0,01	0,12	0,00	0,07	0,09	4,84	0,39	8,82	0,31	4,90	2,03
38	0,91	0,28	1,37	0,81	0,99	0,11	52,22	0,23	0,02	0,03	0,10	14,39	0,02	0,55	0,01	0,16	0,10	1,99	-0,03	2,09	0,50	4,93	2,65
39	0,21	0,03	0,05	0,16	0,31	0,11	27,52	0,45	0,00	0,00	0,03	2,62	0,00	0,00	0,00	0,64	0,13	3,52	1,53	7,15	0,39	3,21	1,25
40	0,48	0,17	0,72	1,99	0,95	0,13	79,54	0,87	0,02	0,01	0,12	10,87	0,01	0,08	0,00	1,31	0,18	31,84	5,20	11,91	0,95	19,18	2,90
41	0,31	0,29	0,56	1,30	1,07	0,10	35,94	0,43	0,01	0,00	0,08	5,83	0,01	0,13	0,00	0,41	0,22	5,36	0,73	7,09	0,47	5,91	1,70
42	0,66	0,23	1,74	3,09	1,03	0,13	91,32	0,87	0,01	0,01	0,16	11,86	0,01	0,12	0,00	0,69	0,30	18,81	1,84	13,49	1,62	13,43	4,21
43	0,87	0,12	0,72	3,65	1,25	0,10	55,36	1,03	0,01	0,02	0,21	10,14	0,01	0,37	0,01	0,68	0,31	11,01	2,28	10,65	0,74	8,04	2,62
44	0,47	0,13	1,63	2,17	1,27	0,12	76,28	1,01	0,01	0,01	0,10	11,93	0,01	0,11	0,00	0,42	0,48	22,99	1,70	15,99	1,18	15,61	3,69
45	0,34	0,26	2,01	2,77	0,91	0,13	135,29	2,31	0,01	0,01	0,33	19,95	0,01	0,22	0,00	31,92	0,28	47,39	3,11	31,73	2,01	37,30	8,41
46	0,52	0,14	1,43	3,99	1,08	0,11	110,73	2,90	0,01	0,01	0,50	20,27	0,01	0,21	0,00	11,76	0,30	31,66	3,63	22,38	1,53	23,49	5,57
47	0,42	0,18	0,29	0,36	0,54	0,02	6,77	0,04	0,01	0,01	0,07	3,00	0,01	0,10	0,00	0,05	0,05	1,75	0,04	2,07	0,06	1,56	0,23
48	0,40	0,13	0,82	1,20	0,68	0,07	32,94	0,17	0,00	0,01	0,11	8,34	0,01	0,32	0,01	0,11	0,16	15,44	-0,11	4,78	0,38	10,48	1,55
49	0,31	0,24	1,53	3,20	0,78	0,10	107,65	2,20	0,01	0,02	0,34	24,24	0,00	0,16	0,00	6,64	0,34	44,92	4,02	24,66	1,59	32,23	5,79
50	0,19	0,09	0,82	3,70	0,55	0,27	156,03	2,62	0,01	0,01	0,38	32,63	0,01	0,03	0,00	13,01	0,40	66,00	2,87	29,52	2,11	49,42	5,36
51	0,21	0,34	3,71	2,40	0,59	0,16	265,90	1,83	0,01	0,02	0,25	44,42	0,01	0,00	0,00	18,57	0,38	89,14	6,34	51,05	2,00	52,95	8,90

Nro.	Ca mg/l	Mg mg/l	Paine mmHg	DO mg/l	Typpi mg/l	Fosfori mg/l	Sedimentin °C	Veden °C	Ilman °C	Uoman leveys m	Uoman syvyys m	Varjostus %	Virtaus- nopeus m/s
1	15,34	5,55	756,90	0,04	1,11	169,36	12,0	11,9	20,3	2,44	0,15	55,3	0,11
2	15,70	8,00	757,80	0,02	2,07	46,58	18,0	18,3	20,6	5,89	0,21	0,0	0,31
3	3,56	1,11	756,40	0,02	0,37	22,05	12,9	13,6	19,7	1,52	0,23	97,5	0,10
4	6,17	2,09	755,30	0,02	0,79	87,05	16,7	17,1	18,3	4,92	0,24	15,4	0,22
5	3,40	0,82	754,20	0,03	0,43	21,54	12,7	12,8	15,9	6,36	0,10	62,2	0,22
6	11,66	5,12	753,30	0,04	0,69	40,26	11,2	11,4	18,5	3,08	0,26	80,1	0,21
7	3,95	1,43	749,40	0,04	0,32	27,35	7,7	10,6	17,4	4,99	0,25	66,2	0,40
8	4,12	1,37	749,00	0,04	0,26	19,08	9,1	9,2	18,3	1,57	0,26	68,3	0,14
9	3,75	1,00	749,00	0,03	0,52	19,22	14,6	17,1	19,0	3,34	0,22	41,1	0,18
10	2,33	0,73	749,30	0,02	0,33	19,09	20,1	22,2	12,6	4,77	0,34	45,0	0,17
11	8,20	1,81	750,00	0,03	0,61	16,89	13,7	16,6	24,6	2,91	0,32	47,9	0,11
12	3,08	0,71	747,70	0,02	0,47	37,64	15,0	17,1	23,2	4,50	0,38	10,8	0,15
13	2,85	0,68	747,50	0,02	0,29	11,58	20,4	21,6	21,8	6,01	0,24	74,4	0,33
14	2,28	0,77	744,40	0,02	0,37	20,20	20,1	22,3	17,4	3,32	0,35	65,3	0,20
15	4,59	1,43	744,80	0,03	0,52	36,02	13,7	13,9	16,8	4,21	0,24	67,3	0,18
16	5,00	1,26	746,30	0,04	0,91	126,88	12,7	13,8	23,9	7,10	0,45	0,0	0,06
17	1,72	0,63	744,00	0,03	0,44	29,97	15,3	15,5	23,8	3,28	0,19	85,6	0,28
18	2,02	0,63	745,80	0,02	0,35	20,31	16,9	17,6	23,3	7,11	0,16	0,0	0,36
19	1,46	0,45	745,20	0,02	0,43	33,42	17,4	20,0	22,1	7,30	0,41	17,8	0,07
20	3,88	0,68	745,50	0,01	0,27	10,41	18,8	22,6	19,4	12,00	0,17	8,1	0,38
21	6,07	0,81	742,50	0,03	0,36	10,92	14,6	15,2	19,1	8,21	0,19	0,0	0,28
22	7,01	1,98	739,70	0,03	1,53	237,00	14,9	16,1	16,9	1,58	0,11	73,8	0,12
23	5,71	3,41	741,20	0,04	0,55	41,84	14,3	14,6	16,8	3,82	0,22	27,8	0,51
24	4,62	1,91	745,40	0,03	0,48	39,42	16,9	17,6	16,7	12,40	0,22	28,3	0,41
25	2,54	1,30	738,60	0,03	0,48	29,49	17,3	17,8	16,7	2,86	0,12	22,6	0,34
26	3,65	1,00	742,00	0,03	0,44	33,62	14,5	16,0	20,2	1,32	0,22	67,6	0,39
27	3,70	1,11	743,20	0,03	0,35	20,97	12,6	15,9	19,1	3,50	0,29	51,0	0,19
28	3,16	0,96	743,90	0,04	0,64	37,33	12,1	12,5	20,9	2,15	0,31	62,4	0,31
29	5,73	1,54	745,70	0,02	0,38	18,57	17,8	19,9	20,4	27,00	0,27	52,8	0,14
30	5,82	1,74	744,70	0,02	0,65	47,47	19,6	19,6	19,9	3,40	0,38	9,3	0,57
31	5,07	1,70	745,00	0,04	0,52	28,67	13,7	15,9	13,4	2,97	0,29	20,0	0,31
32	4,01	1,30	746,00	0,04	0,60	31,19	17,2	17,3	14,4	3,69	0,25	56,5	0,22
33	6,90	1,61	746,10	0,04	0,57	48,28	16,3	16,4	16,3	7,13	0,17	74,7	0,32
34	5,77	1,51	747,80	0,03	0,31	11,55	19,3	19,5	16,1	6,70	0,28	48,0	0,86
35	5,54	1,56	748,40	0,05	0,65	36,85	14,6	15,5	15,8	1,13	0,16	83,5	0,34
36	10,09	2,77	749,40	0,06	1,36	141,50	13,3	13,9	14,8	3,54	0,24	8,8	0,26
37	7,00	1,94	749,80	0,05	0,46	25,25	17,2	17,3	13,6	4,90	0,23	92,9	0,78
38	9,67	1,95	750,40	0,08	0,86	24,47	10,3	10,2	17,0	0,86	0,13	60,3	0,05
39	6,44	2,40	752,90	0,09	0,36	14,75	9,9	10,3	20,0	2,19	0,17	0,0	0,49
40	19,17	5,98	753,40	0,07	1,30	56,25	12,3	13,7	19,8	2,34	0,18	95,4	0,20
41	7,98	2,66	757,30	0,04	0,51	41,90	-	17,7	19,4	7,90	0,26	30,8	0,83
42	22,08	11,84	763,90	0,04	1,02	176,65	13,5	13,5	19,2	2,67	0,34	26,3	0,07
43	15,60	3,55	759,30	0,03	0,84	87,06	14,3	13,9	16,2	7,26	0,18	33,0	0,20
44	22,57	6,15	761,30	0,03	0,75	94,43	16,2	16,6	16,6	5,33	0,25	9,0	0,30
45	42,96	9,52	764,20	0,03	0,98	58,40	15,4	15,6	17,7	3,01	0,17	52,5	0,32
46	31,83	6,67	763,30	0,03	1,12	66,08	15,3	15,7	17,2	4,28	0,24	83,5	0,38
47	2,07	0,56	758,40	0,03	0,44	24,52	16,5	17,7	18,6	0,96	0,14	96,2	0,21
48	6,83	2,52	759,90	0,02	0,50	43,92	17,1	19,4	17,4	2,71	0,19	41,0	0,24
49	33,02	5,73	762,30	0,03	1,12	56,70	16,4	17,2	18,8	4,09	0,16	63,0	0,35
50	47,84	8,71	761,50	0,03	0,75	24,54	13,2	15,4	18,6	1,92	0,12	3,8	0,11
51	64,17	10,27	761,70	0,03	1,52	55,03	15,9	16,8	17,3	2,48	0,17	17,8	0,23

Liite 2. Maaperä- ja valuma-alueuuttajat

Puron nimi	Nro.	Pohjavesialue valuma-alueella	Valuma-alue Sa/Si %	Valuma-alue Hk/Sr %	Valuma-alue Mr %	Valuma-alue Kallio %	Seulonnat d50	Hiekka % (0,25-2 mm) (purosta)	Sora % (2-16 mm) (purosta)	Pikkukivi % (16-64mm) (purosta)	Mukulak. % (64-256 mm) (purosta)	Lohkare % (>256 mm) (purosta)	Kallio % (purosta)
Byabäcken	1	ei	28	0	12	50		0	5	22	17	55	2
Tesjoki	2	on	55	3	22	15		0	2	7	12	80	0
Särkjärvi Bäckén	3	ei	3	0	40	24		56	15	2	9	18	0
Onkamaanjoki	4	on	24	2	8	48	hieno sora	2	0	0	6	92	0
Hauhiansaara	5	ei	18	2	13	53		0	5	4	2	2	87
Kupinjoki	6	on	55	34	0	8		31	3	0	15	52	0
Lietoja	7	on	0	30	11	36		23	1	0	0	76	0
Soininjoki	8	-	-	-	-	-		12	5	6	3	67	0
Saamisenjoki	9	ei	0	0	61	26		7	3	42	7	42	0
Naisjärvenpuro	10	ei	0	0	12	67		8	0	2	8	83	0
Äpärapuro	11	ei	5	30	43	0		26	32	27	12	3	0
Kissapuro	12	ei	0	2	38	39		9	0	0	16	76	0
Kivilammenpuro	13	ei	0	13	46	22		14	13	32	27	14	0
Kaunisjärvenpuro	14	ei	0	0	56	12	keskikarkea hiekka	46	35	3	1	15	0
Riihijoki	15	on	0	0	53	7		14	18	10	21	37	0
PuroNK10	16	on	0	4	23	7		20	0	0	0	80	0
Mustapuro	17	ei	0	1	46	1		0	4	7	16	74	0
Hanhijoki	18	ei	0	4	26	39	karkea hiekka	65	2	0	2	32	0
Ulkkajoki	19	on	0	8	5	66		3	13	6	75	23	0
Palojoki	20	on	0	18	20	39		35	34	17	12	3	0
Kuusoja	21	on	0	7	31	50		0	0	0	0	100	0
Leppilammenpuro	22	ei	0	0	76	0	keskikarkea sora	5	31	52	11	2	0
Viitapuro	23	on	8	20	37	0		3	0	0	2	95	0
Multapuro	24	on	4	2	48	1	keskikarkea sora	0	0	0	12	48	40
Särkankarit	25	ei	0	0	64	5		0	42	33	5	21	0
Tyylinpuro	26	-	-	-	-	-		2	3	5	19	71	0
Viipperonjoki	27	on	2	1	49	28		29	42	14	13	2	0
Ristijoki	28	-	-	-	-	-		7	1	10	14	68	0
Joroisvirta	29	on	3	3	52	7		0	0	4	11	86	0
Pahakkalajoki	30	ei	2	2	60	5		0	0	3	9	89	0
Haapajoki	31	ei	0	0	68	2		31	32	13	5	21	0
Konnusjoki	32	ei	0	0	61	0		2	4	6	11	78	0
Myllyjoki	33	on	0	9	60	3		8	1	15	22	53	0
Tylttyjoki	34	on	0	4	63	9		13	7	10	27	44	0
Könssinputous	35	ei	0	2	75	6		3	1	1	1	94	0
Kapakkaaja	36	ei	3	0	81	1		42	1	3	22	33	0
Emolanjoki	37	on	6	7	55	14		7	1	18	30	44	0
Harjulammenpuro	38	-	-	-	-	-		0	0	11	19	40	0
Kiikunlähteenpuro	39	on	50	29	18	3		3	9	74	10	4	0
Herajoki	40	on	48	9	26	2		10	4	5	2	80	0
Keravanjoki/Kellokoski	41	on	46	10	18	10		0	0	8	7	86	0
Sipoonjoki	42	on	61	2	10	25		1	3	7	1	88	0
Jokela/Palojoki	43	on	53	9	21	12		0	4	18	50	28	0
Kuhakoski	44	on	54	11	9	18		0	0	0	4	6	90
Kylmäoja	45	on	51	10	3	18		0	16	36	37	11	0
Rekolanoja	46	on	56	11	12	13		3	1	0	2	94	0
Haukilammenpuro	47	on	7	0	11	65		0	3	3	10	84	0
Luukki	48	on	31	1	11	46		70	0	16	11	3	0
Mätäjoki	49	on	28	0	18	19		0	0	28	36	36	0
Urnalehdonpuro	50	-	-	-	-	-		72	14	5	7	2	0
Longinoja	51	-	-	-	-	-	keskikarkea sora	0	0	2	77	21	0